



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN MODIFIER STRONSIUM DAN  
PROSES PERLAKUAN PANAS T4 & T6 TERHADAP  
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS PADUAN  
ALUMINIUM SILIKON HIPEREUTEKTIK**

**SKRIPSI**

**RAMADIAN AGUNG NUGROHO  
0405040589**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JULI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN MODIFIER STRONSIUM DAN  
PROSES PERLAKUAN PANAS T4 & T6 TERHADAP  
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS PADUAN  
ALUMINIUM SILIKON HIPEREUTEKTIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**RAMADIAN AGUNG NUGROHO  
0405040589**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Ramadian Agung Nugroho**  
**NPM : 0405040589**  
**Tanda Tangan : .....**  
**Tanggal : 2 Juli 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Ramadian Agung Nugroho  
NPM : 0405040589  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Modifier Stronsium dan  
Proses Perlakuan Panas T4 & T6 terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis  
Paduan Aluminium Silikon Hipereutektik.

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing.Ir. Bambang Suharno (.....)  
Penguji 1 : Dr. Ir. Donanta Dhaneswara (.....)  
Penguji 2 : Dwi Marta Nurjaya (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Alloh Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat kesehatan dan kecerdasan, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Ir. Budi Wahyu Utomo, selaku pembimbing di industri yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan dalam penelitian;
3. Bapak Wardino dan Saiful, selaku pengarah teknis penelitian ini yang telah banyak membantu dalam proses penelitian dan pengujian di PT. X;
4. Ibu Riyanti yang telah meminjamkan mikroskop optik digital;
5. pihak PT. X yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data-data yang saya perlukan;
6. orang tua dan adik tercinta yang telah memberikan dukungan moral dan material yang tak terhingga jumlahnya; dan
7. teman-teman seperjuangan yang telah membantu dan memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Alloh Subhanahu Wa Ta'ala berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu metalurgi dan material ke depan.

Depok, 2 Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ramadian Agung Nugroho  
NPM : 0405040589  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Pengaruh Penambahan Modifier Stronsium dan Proses Perlakuan Panas T4  
& T6 terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Paduan Aluminium  
Silikon Hipereutektik**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 2 Juli 2009  
Yang menyatakan

(Ramadian Agung Nugroho)

## ABSTRAK

Nama : Ramadian Agung Nugroho  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan Modifier Stronsium dan Proses Perlakuan Panas T4 & T6 terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Paduan Aluminium Silikon Hipereutektik

Piston merupakan bagian dari mesin kendaraan bermotor yang berfungsi menggerakkan mesin kendaraan melalui proses pembakaran dalam ruang bakar. Krisis global menuntut perusahaan menurunkan anggaran belanja dengan mengganti material yang harganya mahal ke material yang harganya lebih murah, tetapi sifat-sifat mekanis dan lainnya sama baik. Material yang sesuai untuk piston adalah paduan aluminium silikon (Al-Si) hipereutektik. Akan tetapi, jumlah Si yang lebih dari 12% akan menimbulkan masalah, yaitu struktur mikro yang kasar sehingga menurunkan sifat mekanis dan mampu permesinan. Penambahan *modifier* stronsium (Sr) akan memperbaiki struktur Si eutektik yang kasar berbentuk *acicular* menjadi menjadi struktur yang halus berbentuk *lamellar* dan *fibrous* sehingga meningkatkan sifat mekanis dan permesinan.

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan Al-Si hipereutektik (16%Si) dan Al-10Sr sebagai *modifier*. *Modifier* Sr yang ditambahkan ke dalam paduan Al-Si hipereutektik adalah 0wt%, 0,12wt%, 0,19wt%, 0,26wt%, dan 0,33wt%. Kemudian hasil pengecoran dilakukan proses perlakuan panas T4 & T6. Untuk mengetahui kadar Si dan Sr dilakukan pengujian komposisi. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui perubahan bentuk struktur mikronya. Untuk mengetahui sifat mekanis dilakukan pengujian tarik, keras, dan keausan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Sr pada paduan Al-Si hipereutektik mengubah struktur mikro dari struktur Si eutektik yang kasar berbentuk *acicular* menjadi struktur yang lebih halus berbentuk campuran *lamellar* dan *fibrous*. Hasil pengujian sifat mekanis semua variabel, menunjukkan bahwa penambahan Sr meningkatkan sifat mekanis. Proses perlakuan panas T6 memiliki sifat mekanis lebih besar dibanding T4. Hasil pengujian kekuatan tarik maksimal tertinggi sampel T4 adalah  $174 \text{ N/mm}^2$  pada variabel 0,12% Sr dan sampel T6 adalah  $210 \text{ N/mm}^2$  pada variabel 0,19% Sr. Kekerasan semua sampel, baik pada sampel T4 atau T6 cenderung rata. Laju aus cenderung rata pada sampel T4 dan laju aus terkecil sampel T6 adalah  $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{mm}$  pada variabel 0,19% Sr. Sifat mekanis juga dipengaruhi jumlah poros *shrinkage* yang dapat dilihat dari struktur mikronya.

Kata kunci:

Paduan Al-Si hipereutektik, *modifier* Sr, perlakuan panas T4 & T6

## ABSTRACT

Name : Ramadian Agung Nugroho  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Final Report Title : The Effect of Strontium Modifier and T4 & T6 Heat Treatment Process to Microstructure and Mechanical Properties Aluminum Silicon Hypereutectic Alloys

Piston is a part of vehicle engine which its function to engine movement through burning process in burn chamber. Global crisis had the company decreased expenditure cost with materials substitution from expensive to cheap materials, but they have same mechanical and other properties. The material appropriate to piston is hypereutectic aluminum silicon (Al-Si) alloys. But, Si composition more than 12% will appear problem that is coarse microstructures with the result that decrease mechanical properties and machinability. Sr modifier added will improve coarse Si eutectic structure which acicular form to fine structure which lamellar and fibrous form with the result increase mechanical properties and machinability.

Materials used in this research were Al-Si hypereutectic alloys (16%Si) and Al-10Sr alloys as modifier. Sr modifier which added to Al-Si hypereutectic alloys was 0wt%, 0,12wt%, 0,19wt%, 0,26wt%, and 0,33wt%. And then as cast product was done heat treatment T4 & T6 process. To know Si and Sr compositions was done composition test. Microstructures test was done to know its microstructure change. To know mechanical properties was done tensile, hardness, and wear test.

The result of this research, show that Sr added in Al-Si hypereutectic alloys have changed microstructure from coarse Si eutectic structure which acicular form to fine structure which lamellar and fibrous structure. The result of mechanical properties test in all variable, show that Sr added increase mechanical properties. T6 heat treatment process had mechanical properties higher than T4. The result of highest ultimate tensile strength of T4 samples was  $174 \text{ N/mm}^2$  in 0,12% Sr variable and T6 samples was  $210 \text{ N/mm}^2$  in 0,19% Sr variable. Hardness all the sample, not only T4 but also T6 samples was flat sloping. Rate of wear was flat sloping in T4 samples and lowest rate of wear T6 samples was  $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{mm}$  in 0,19% Sr variable. Mechanical properties was also influence numbers of shrinkage porosity can be looked from microstructure.

Key words:

Al-Si hypereutectic alloys, Sr modifier, T4 & T6 heat treatment

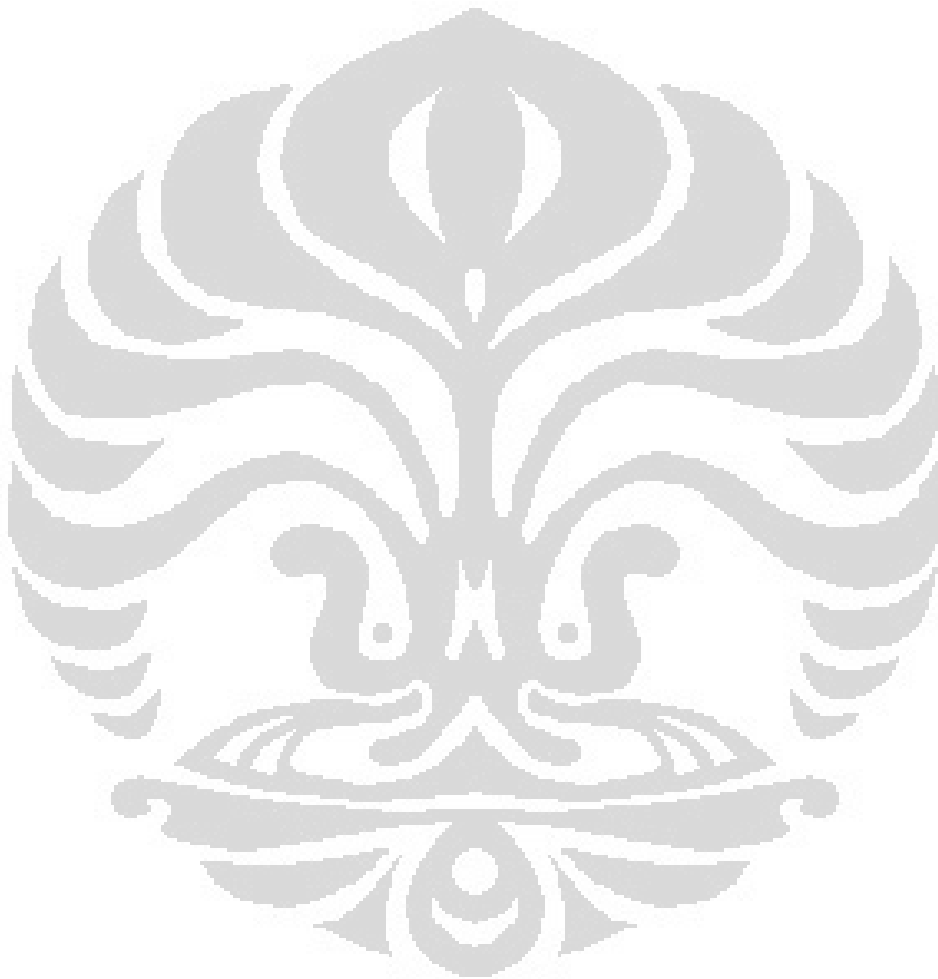


## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Manfaat Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.4.1. Material .....	3
1.4.2. Parameter Penelitian .....	3
1.4.3. Pengujian .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Piston.....	4
2.1.1. Prinsip Kerja Piston.....	4
2.1.2. Material Piston .....	5
2.1.3. Pembuatan Piston di PT. X .....	5
2.2. Aluminium dan Paduannya.....	7
2.2.1. Penggunaan Aluminium pada Otomotif .....	7
2.2.2. Sifat Paduan Aluminium .....	8
2.2.3. Sistem Tata Nama Aluminium .....	9
2.2.4. Pengaruh Unsur Mayor dalam Paduan Aluminium .....	10
2.2.5. Pengaruh Unsur Minor dalam Paduan Aluminium .....	12
2.2.6. Fluiditas Aluminium .....	15
2.2.7. Gas Hidrogen dalam Aluminium Tuang.....	16
2.3. Paduan Aluminium Silikon.....	17
2.3.1. Material Al-Si Hipereutektik .....	20
2.3.2. Proses Pembekuan Paduan Al-Si Hiperutektik.....	21
2.4. Modifikasi Paduan Aluminium .....	24
2.4.1. <i>Modifier</i> .....	24
2.4.2. Unsur-Unsur <i>Modifier</i> .....	24
2.4.3. Mekanisme Modifikasi .....	26
2.4.4. Overmodifikasi .....	28
2.4.5. <i>Modifier Fading</i> .....	29
2.5. Pengaruh Stronsium Pada Paduan Aluminium Silikon.....	29
2.5.1. Pengaruh Sr Terhadap Paduan Al-Si Hipoeutektik .....	29
2.5.1.1. Pengaruh Sr terhadap struktur mikro .....	29

2.5.1.2. Pengaruh Sr terhadap kekuatan tarik paduan Al-Si	30
2.5.1.3. Pengaruh Sr terhadap kekerasan paduan Al-Si	31
2.5.2. Pengaruh Sr Terhadap Paduan Al-Si Hipereutektik	31
2.5.2.1. Pengaruh Sr terhadap struktur mikro	31
2.5.2.2. Pengaruh Sr terhadap temperatur dan komposisi eutektik	33
2.5.2.3. Pengaruh Sr terhadap porositas	34
2.5.2.4. Pengaruh Sr terhadap kekuatan tarik	35
2.5.2.5. Pengaruh Sr terhadap kekerasan	36
2.5.2.6. Pengaruh Sr terhadap keausan	37
2.5.2.7. Penambahan Sr berlebih pada paduan Al-Si hipereutektik	37
2.6. Perlakuan Panas Paduan Aluminium	38
2.6.1. Proses Penuaan Paduan Aluminium	38
2.6.1.1. <i>Solution treatment</i>	40
2.6.1.2. <i>Quenching</i>	40
2.6.1.3. Penuaan ( <i>Aging</i> )	40
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>44</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian	44
3.2. Alat dan Bahan	46
3.2.1. Alat	46
3.2.2. Bahan	46
3.3. Prosedur Penelitian	47
3.3.1. Persiapan Penelitian	47
3.3.1.1. Perhitungan <i>material balance</i>	47
3.3.1.2. Persiapan Peralatan dan bahan	48
3.3.2. Proses Peleburan	49
3.3.3. Penambahan <i>Modifier</i> Stronsium	51
3.3.4. Proses Penuangan	52
3.3.5. Proses Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> )	53
3.3.6. Preparasi Sampel	54
3.3.6.1. Preparasi sampel uji komposisi kimia	54
3.3.6.2. Preparasi sampel uji tarik	55
3.3.6.3. Preparasi sampel uji kekerasan	55
3.3.6.4. Preparasi sampel uji aus	56
3.3.6.5. Preparasi sampel pengamatan struktur mikro	56
3.3.7. Pengujian Sampel	60
3.3.7.1. Uji komposisi kimia	60
3.3.7.2. Uji tarik	60
3.3.7.3. Uji kekerasan	61
3.3.7.4. Uji aus	62
3.3.7.5. Pengamatan struktur mikro	63
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	<b>64</b>
4.1. Hasil dan Analisa Komposisi Kimia	64
4.2. Hasil dan Analisa Foto Struktur Mikro	66
4.2.1. Porositas pada Foto Mikro	69

4.3. Hasil dan Analisa Pengujian Tarik .....	71
4.4. Hasil dan Analisa Pengujian Kekerasan .....	73
4.5. Hasil dan Analisa Pengujian Keausan .....	75
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>78</b>
REFERENSI .....	79
LAMPIRAN.....	82

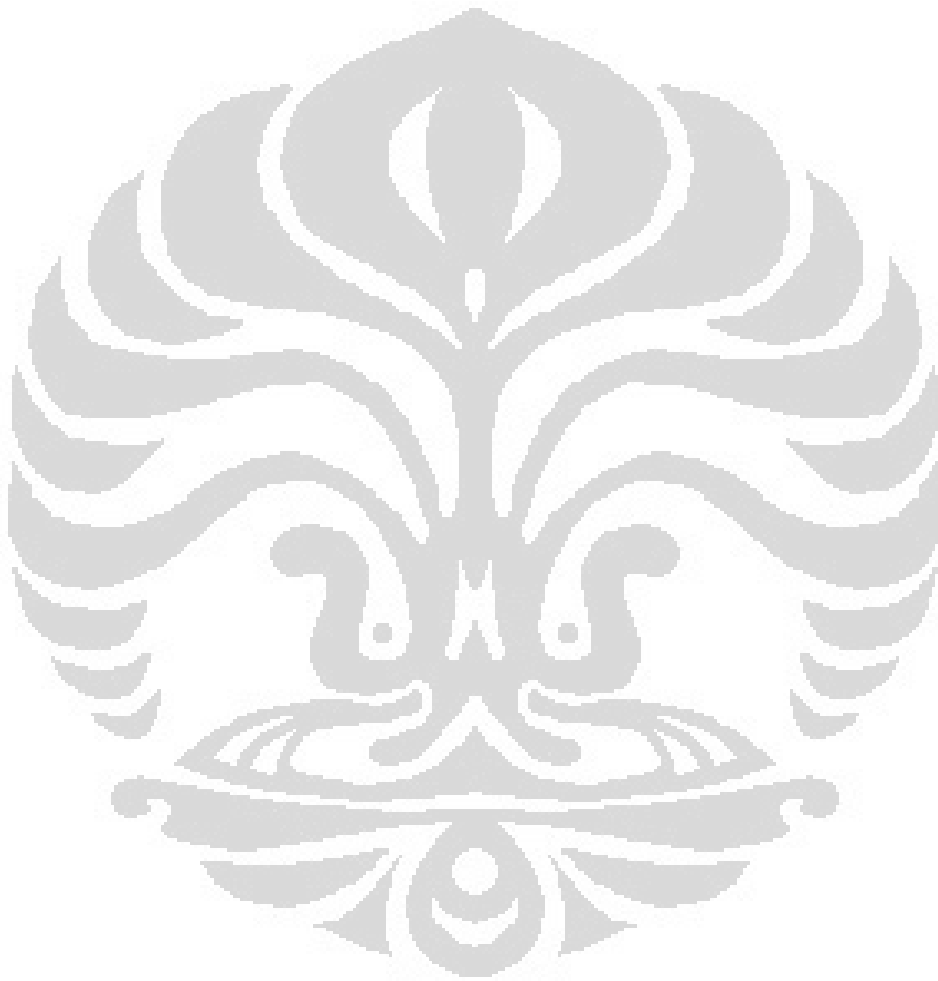


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Piston .....	4
Gambar 2.2. Kelarutan oksigen pada aluminium pada tekanan hidrogen 1 atm....	17
Gambar 2.3. Diagram Fasa Al-Si dan Mikrostruktur Al-Si Tuang.....	18
Gambar 2.4. Grafik pembekuan paduan Al-Si hipereutektik.....	22
Gambar 2.5. Proses pembekuan paduan Al-Si hipereutektik dan struktur mikronya .....	23
Gambar 2.6. Formasi pembentukan dendrit yang saling merakit membentuk butir.....	23
Gambar 2.7. (a) Pertumbuhan silikon, (b) <i>Acicular</i> silikon.....	26
Gambar 2.8. (a) <i>Natural twin</i> , (b) <i>Impurity induced twin</i> , (c) <i>Fibrous structure of modified silicon</i> (Al-Si12) 500X .....	27
Gambar 2.9. Adsorpsi atom impurities pada pertumbuhan kristal silikon yang menyebabkan terjadinya mekanisme <i>twinning</i> .....	28
Gambar 2.10. Sistem tingkatan pada struktur mikro modifikasi .....	32
Gambar 2.11. (a) Analisis termal pembekuan paduan Al-Si; Diagram fasa Al-Si pada komposisi Al-13Si, (b) <i>unmodified</i> , (c) <i>modified</i> oleh 0.01%Na .....	34
Gambar 2.12. (a) Kandungan hidrogen sebagai fungsi dari temperatur <i>holding</i> paduan A356 cair, (b) Pengaruh kandungan gas terhadap <i>tensile dan yield strength</i> paduan A356 .....	35
Gambar 2.13. Sifat mekanis spesimen tarik <i>as-cast</i> paduan A356 sebagai fungsi dari modifikasi dan ukuran butir.....	36
Gambar 2.14. Sifat mekanis spesimen keras <i>as-cast</i> paduan A356 sebagai fungsi dari modifikasi dan ukuran butir.....	36
Gambar 2.15. Ilustrasi prinsip <i>precipitation hardening</i> Al-Cu.....	39
Gambar 2.16. (a) <i>A supersaturated <math>\alpha</math> solid solution</i> , (Cu: <i>substitutional atoms</i> ), (b) <i>A transition <math>\theta''</math> precipitate phase</i> , (c) <i>the equilibrium <math>\theta</math> phase within the <math>\alpha</math>-matrix phase</i> , (d) <i>GP Zone (coherence interface)</i> .....	41
Gambar 2.17. Perubahan sifat koherensi endapan pada proses penuaan untuk paduan Al-Cu; (a) larutan padat dengan distribusi acak dengan atom terlarut, (b) endapan koheren, (c) endapan semi koheren, dan (d) endapan inkoheren.....	42

Gambar 2.18. Fungsi kekerasan terhadap waktu aging Al-4Cu. Paduan mengalami <i>solution treatment</i> selama minimal 48 jam pada temperatur 520°C kemudian didinginkan secara cepat pada 20°C ...	43
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	44
Gambar 3.2. (a) <i>Master alloy</i> Al-10Sr, (b) Proses pemotongan .....	48
Gambar 3.3. (a) Cetakan uji tarik, (b) Cetakan uji komposisi kimia, (c) <i>Ladle</i> .....	49
Gambar 3.4. (a) <i> Holding furnace</i> dan Al cair, (b) kristal silikon.....	50
Gambar 3.5. Proses <i>degassing</i> dengan mesin GBF .....	50
Gambar 3.6. <i>Modifier</i> stronsium yang ditambahkan.....	51
Gambar 3.7. Proses penuangan ke dalam cetakan uji tarik.....	52
Gambar 3.8. Hasil coran (a) Sampel uji tarik, (b) Sampel uji komposisi .....	53
Gambar 3.9. Peralatan <i>oven heat treatment</i> .....	54
Gambar 3.10. Sampel uji komposisi kimia .....	55
Gambar 3.11. Sampel uji tarik .....	55
Gambar 3.12. Sampel uji kekerasan.....	56
Gambar 3.13. Sampel uji aus .....	56
Gambar 3.14. Pengambilan sampel untuk pengamatan foto mikro .....	57
Gambar 3.15. Sampel hasil <i>mounting</i> .....	58
Gambar 3.16. Proses pengamplasan .....	58
Gambar 3.17. Proses pemolesan .....	59
Gambar 3.18. (a) Mesin spektrometer (b) Hasil uji komposisi setelah penembakan .....	60
Gambar 3.19. Mesin uji tarik Shimadzu .....	61
Gambar 3.20. Mesin uji kekerasan Rockwell .....	61
Gambar 3.21. Skema uji aus Ogoshi .....	62
Gambar 4.1. Hasil pengamatan struktur mikro hasil perlakuan panas T4 & T6 dengan mikroskop optik digital dengan perbesaran 200X (Si eutektik 1- <i>acicular</i> , 2- <i>lamellar</i> , 3- <i>fibrous</i> ; 4-Si primer).....	67
Gambar 4.2. Hasil pengamatan struktur mikro hasil perlakuan panas T6 dengan mikroskop optik manual dengan perbesaran 50X (1- <i>shrinkage</i> , dan 2-dendrit).....	70

Gambar 4.3. Grafik pengaruh penambahan Sr dan perlakuan panas T4 & T6 terhadap kekuatan tarik .....	72
Gambar 4.4. Cacat poros makro pada penampang hasil pengujian tarik .....	73
Gambar 4.5. Grafik pengaruh penambahan Sr dengan perlakuan panas T4 & T6 terhadap kekerasan .....	74
Gambar 4.6. Grafik pengaruh penambahan Sr dan perlakuan panas T4 & T6 terhadap laju aus .....	76



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penggunaan aluminium pada industri otomotif dunia .....	7
Tabel 2.2. Karakteristik aluminium secara umum .....	9
Tabel 2.3. Klasifikasi aluminium paduan sesuai standar AA .....	10
Tabel 2.4. Konversi standardisasi paduan aluminium sesuai BS 1490:1988 <i>alloys</i> .....	20
Tabel 2.5. Komposisi kimia paduan aluminium sesuai BS 1490:1988 <i>alloys</i> .....	20
Tabel 2.6. Sifat-sifat mekanis sesuai BS 1490:1998 <i>alloys</i> .....	20
Tabel 2.7. Karakteristik paduan aluminium .....	21
Tabel 3.1. Perhitungan <i>material balance</i> penambahan stronsium .....	48
Tabel 3.2. Komposisi material AC8A .....	50
Tabel 3.3. Berat stronsium target dan stronsium aktual .....	52
Tabel 4.1. Hasil pengujian komposisi kimia .....	64

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Akhir tahun 2008, dunia dilanda krisis global yang sangat dahsyat dan Indonesia merupakan salah satu yang terkena dampaknya. Hampir semua sektor bisnis yang ada terkena dampak dari krisis global tersebut. Tahun 2009 merupakan tahun yang kurang baik dalam penjualan kendaraan di Indonesia baik kendaraan roda dua ataupun roda empat. PT. X – salah satu industri kendaraan roda dua di Indonesia – juga mengalami dampak dari krisis global yang berimbas pada penurunan penjualan kendaraan roda dua sehingga menurunkan keuntungan bahkan dapat merugikan perusahaan. Situasi ini menuntut perusahaan untuk melakukan pengetatan dan efisiensi anggaran belanja perusahaan yang salah satunya penggantian material yang lebih murah dengan kualitas yang sama.

Paduan AC8H merupakan material utama dalam pembuatan piston. Paduan AC8H (standar HES) merupakan pengembangan dari paduan AC8A (standar JIS) oleh HONDA (Jepang). Material ini diimpor dari Jepang dan harganya mahal sehingga perusahaan berusaha untuk mengganti dengan material yang harganya lebih murah dengan sifat mekanis dan sifat lain yang sama baik.

Piston merupakan bagian dari kendaraan bermotor yang fungsinya sangat vital, yaitu menggerakkan mesin kendaraan melalui proses pembakaran dalam ruang bakar. Proses pembakaran yang terjadi menghasilkan temperatur yang tinggi hingga mencapai  $300^{\circ}\text{C}^{[1]}$ . Oleh karena itu, piston harus memiliki kriteria yang baik, yaitu ringan, kekuatan temperatur tinggi yang baik, ketahanan aus dan ketahanan korosi yang baik, mudah pengecoran dan permesinan, dan konduktifitas dan ekspansi panas yang rendah.

Material yang sesuai dengan kriteria di atas adalah paduan aluminium silikon (Al-Si) hipereutektik. Paduan Al-Si hipereutektik memiliki komposisi Si > 12% pada diagram fasa Al-Si<sup>[2]</sup>. Si mempunyai densitas dan ekspansi panas yang lebih rendah dibanding Al sehingga semakin banyak Si membuat paduan Al-Si hipereutektik ringan, ketahanan aus yang baik, dan konduktifitas dan ekspansi panas yang rendah<sup>[3]</sup>. Kadar Si yang tinggi juga membuat struktur mikronya



kurang baik karena adanya Si primer dan eutektik yang kasar sehingga menurunkan kekuatan, mampu permesinan, dan mampu cor paduan ini.

Untuk mengatasinya dapat dilakukan dengan perlakuan penambahan paduan dan/atau proses pengecoran tertentu. Salah satu perlakuan yang biasa dilakukan adalah dengan penambahan *modifier*. *Modifier* merupakan unsur logam yang ditambahkan ke dalam paduan Al-Si yang dapat memperbaiki struktur mikronya. Perbaikan struktur mikronya yang mempunyai dampak positif dengan meningkatnya kekuatan, mampu permesinan, dan mampu cor paduan ini.

Stronsium (Sr) adalah logam yang digunakan sebagai *modifier* pada paduan Al-Si. Umumnya Sr digunakan sebagai *modifier* pada paduan Al-Si hipoeutektik, tetapi dalam penelitian ini digunakan pada paduan Al-Si hipereutektik. Sr dapat juga digunakan pada paduan Al-Si hipereutektik, yaitu dengan menambahkan Sr lebih banyak dibanding pada paduan Al-Si hipoeutektik<sup>[4]</sup>. Sr merupakan unsur yang mudah didapatkan dan menghasilkan perubahan yang signifikan pada struktur mikro ketika ditambahkan<sup>[4]</sup>.

Paduan Al-Si hasil pengecoran (*as cast*) dapat ditingkatkan sifat mekanisnya dengan cara perlakuan panas (*heat treatment*). Pada penelitian ini perlakuan panas dilakukan dua macam, yaitu T4 dan T6. Keefektifan dari keduanya adalah ketika dapat mencapai sifat mekanis yang sesuai dengan standar dan jangka waktu yang lebih singkat. Oleh sebab itu, sangat menarik untuk diketahui pengaruh yang didapatkan dari hasil penelitian ini.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Mengetahui pengaruh penambahan Sr terhadap struktur mikro dan sifat mekanis (kekerasan, kekuatan tarik, dan keausan) paduan Al-Si hipereutektik.
- b. Mengetahui dan mempelajari hubungan antara perubahan struktur mikro dengan sifat mekanis paduan Al-Si hipereutektik akibat penambahan stronsium.
- c. Mengetahui kadar Sr yang optimal untuk merubah struktur mikro dan sifat mekanis paduan Al-Si hipereutektik.

- d. Mengetahui pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) *natural aging* (T4) dan *artificial aging* (T6) terhadap struktur mikro dan sifat mekanis paduan Al-Si hipereutektik.

### 1.3 MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi struktur mikro, sifat mekanis, dan perlakuan panas, apabila menggunakan material Al-Si hipereutektik sebagai pengganti material AC8H. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan tambahan studi literatur bagi pihak lain yang ingin mengetahui pengaruh penambahan modifier Sr dan perlakuan panas terhadap paduan Al-Si hipereutektik.

### 1.4 BATASAN MASALAH

#### 1.4.1 Material

- a. Material yang digunakan adalah paduan Al-Si hipereutektik ( $\pm 16\%$  Si).
- b. Silikon padat 99% yang ditambahkan pada paduan AC8A untuk mencapai paduan Al-Si hipereutektik ( $\pm 16\%$  Si).
- c. *Modifier* yang digunakan adalah Al-10Sr.

#### 1.4.2 Parameter Penelitian

- a. Variabel penambahan kadar Sr ke dalam paduan Al-Si hipereutektik adalah 0% Sr, 0,12% Sr, 0,19% Sr, 0,26% Sr, dan 0,33% Sr.
- b. Perlakuan panas *natural aging* (T4) dan *artificial aging* (T6) dengan temperatur *solution treatment* 490°C selama 4 jam, temperatur *quench* 70 °C selama 10 menit, dan temperatur *artificial aging* 210°C selama 4 jam.

#### 1.4.3 Pengujian

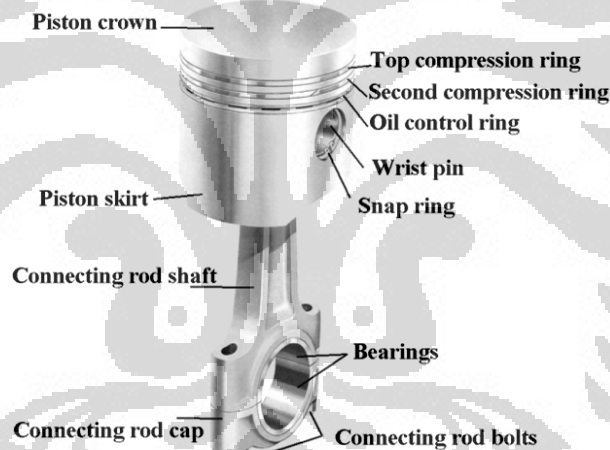
- a. Pengujian komposisi kimia untuk setiap variabel sampel
- b. Pengamatan struktur mikro untuk setiap variabel sampel
- c. Pengujian kekuatan tarik untuk setiap variabel sampel
- d. Pengujian kekerasan untuk setiap variabel sampel
- e. Pengujian keausan untuk setiap variabel sampel.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 PISTON

#### 2.1.1 Prinsip Kerja Piston

Piston (gambar 2.1) yang dalam bahasa Indonesia juga dikenal dengan istilah torak adalah sebuah komponen dari mesin pembakaran dalam yang berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar silinder liner<sup>[3]</sup>. Komponen mesin ini dipegang oleh setang piston (*connecting rod*) yang mendapatkan gerakan turun-naik karena gaya yang dihasilkan dari proses pembakaran pada ruang bakar.



Gambar 2.1 Piston<sup>[5]</sup>

Proses kerja pada ruang bakar dimulai dengan masuknya udara dan bahan bakar pada ruang bakar, kemudian dikompres oleh piston. Percikan api dari busi secara elektrik yang menimbulkan pembakaran berupa ledakan pada ruang bakar. Panas yang dapat mencapai  $300^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>. Pembakaran tersebut membuat piston bergerak turun-naik, gerakan tersebut ditransfer secara mekanik ke bagian *crankshaft* untuk menjalankan mesin sepeda motor melalui *connecting rod*. Piston akan terus menerus bergerak dan akan mati apabila dimatikan secara elektrik sehingga busi tidak memberikan percikan api atau tidak ada bahan bakar.

### 2.1.2 Material Piston

Dari sedikit informasi tentang piston yang telah dipaparkan, diperlukan material yang mempunyai sifat-sifat yang dapat mendukung kerja piston dengan baik. Biasanya digunakan paduan aluminium silikon sebagai material piston. Syarat-syarat material pembuatan piston antara lain<sup>[1]</sup>:

- a. Ringan, yaitu dapat mengurangi beban inersia yang akan dialami piston.
- b. Kekuatan pada temperatur tinggi, yaitu memiliki kekuatan pada temperatur tinggi tentunya material tersebut akan tahan terhadap temperatur yang tinggi sekitar 300<sup>0</sup>C dalam ruang bakar sehingga tidak mudah rusak.
- c. Ketahanan aus dan ketahanan korosi, syarat ini diperlukan karena aplikasi piston berada dalam lingkungan ruang bakar dan juga gerakan piston yang bergerak naik turun secara terus menerus.
- d. Mudah dalam pengecoran dan permesinan. Sebagai produk coran tentunya material ini harus memiliki mampu cor dan juga mampu mesin yang baik.
- e. Konduktivitas dan ekspansi panas yang rendah. Oleh karena celah (*gap*) antara piston dengan ruang bakar sangat sempit sehingga dibutuhkan material dengan konduktivitas rendah sehingga ekspansi panas piston tidak membuat bertambahnya volume piston yang besar ke arah samping yang menyebabkan piston terperangkap pada ruang bakar.

### 2.1.3 Pembuatan Piston di PT. X<sup>[1]</sup>

- *Coating Dies*

*Dies* yang digunakan harus dilakukan coating secara berkala dengan tujuan agar hasil pengecoran tidak menempel pada *dies*. *Dies* yang digunakan terdiri dari *main mold*, *top core*, dan *center core*. Proses *coating* dilakukan dalam empat tahap, yaitu *preheat mold*, *shot blast*, *coating*, dan pengecekan ketebalan *coating*.

- Peleburan

Material yang digunakan adalah AC8A dengan perbandingan komposisi *ingot* dan *scrap* yang digunakan adalah 60 : 40. Material dilebur pada *furnance* dengan temperatur 720 – 730 °C selama empat jam, dengan bahan bakar LPG.

- *Degassing*

Setelah semua *ingot* dan *scrap* melebur dilanjutkan dengan tahap *degassing* dengan metode *Gas Bubbling Floatation* (GBF). *Degassing* merupakan proses yang dilakukan untuk menghilangkan gas hidrogen yang terlarut/terperangkap di dalam logam cair. Logam cair dalam dalam *ladle* diaduk dengan menggunakan rotor berputar sambil disuntikkan gas argon.

- *Killing*

Merupakan proses tunggu sesudah *degassing* sebelum dilakukan proses pengecoran. Hal ini bertujuan mengendapkan aluminium kembali yang terdapat pada lapisan oksida karena hasil proses *degassing* di permukaan logam cair.

- Pengecoran piston

Sebelum dilakukan penuangan, ada tiga hal *pre-treatment* yang harus dilakukan terlebih dahulu, yaitu pemeriksaan komposisi kimia, pengujian *vacuum porosity*, dan tes kehalusan permukaan (tes bata) untuk mengetahui *hipo – hyper*. Setelah ketiga hal tersebut selesai dilakukan, pengecoran piston siap dilakukan. Oleh karena pada pembuatan piston menggunakan teknik pengecoran *Gravity Die Casting* (GDC) maka proses penuangan logam cair dilakukan dengan manual oleh operator. Dalam satu kali pengecoran dihasilkan dua buah piston yang identik.

- Pemotongan piston

Piston dipotong dan dipisahkan dari *gating system*-nya. Hasil sisa potongan disebut *scrap*. *Scrap* tersebut dikumpulkan dan dilebur kembali bersama *ingot*.

- Perlakuan Panas

Tahapan ini dilakukan dengan tujuan agar sifat mekanis piston menjadi lebih baik dan presipitat terdistribusi merata. Perlakuan panas yang dilakukan adalah T6 yang terdiri dari empat tahap, yaitu: *solution treatment*, *quenching*, *artificial aging*, dan *natural cooling*.

- Penyortiran piston

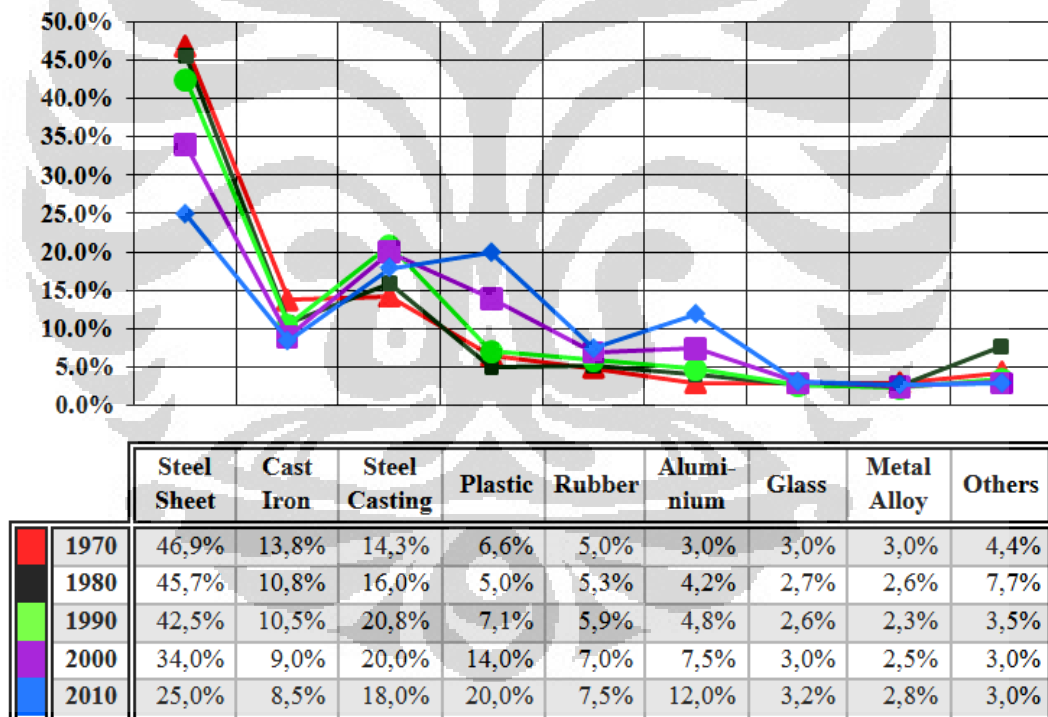
Pada tahap ini piston diperiksa apakah memiliki cacat atau tidak. Setelah tahap ini, maka piston sebagai *finish good* telah siap dibawa ke bagian *machining*.

## 2.2 ALUMINIUM DAN PADUANNYA

### 2.2.1 Penggunaan Aluminium pada Otomotif

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H.C. Oersted tahun 1825. Secara industrial tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C.M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah mengolah logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Hall Heroult masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai bahan baku pembuatan *part* otomotif semakin meningkat dikarenakan sifat-sifatnya sangat baik apabila dipadu dengan logam lainnya.

Tabel 2.1 Penggunaan aluminium pada industri otomotif dunia<sup>[6]</sup>



Dari tabel 2.1 ditunjukkan bahwa kebutuhan akan penggunaan aluminium dalam industri otomotif dunia setiap dekadanya selalu mengalami peningkatan. Diperkirakan pada tahun 2010 penggunaan aluminium di dunia otomotif berada pada urutan ketiga dari semua material yang digunakan pada industri otomotif setelah baja dan plastik. Oleh karena itu, banyak dilakukan rekayasa pada paduan

aluminium untuk memperoleh dan memperluas penggunaan produk-produk aluminium dengan sifat-sifat yang unggul.

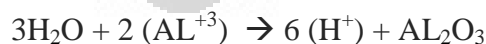
### 2.2.2 Sifat Paduan Aluminium

Aluminium banyak digunakan pada industri otomotif dunia karena keunggulan sifat-sifatnya, antara lain<sup>[6]</sup>:

- a. *Excellent Strength-to-weight ratio.*
- b. Berat jenisnya rendah (2,7 gr/Cm<sup>3</sup>), hanya 1/3 dari baja.
- c. Temperatur peleburan yang rendah ( $\pm 660$  °C) sehingga memerlukan peralatan peleburan yang sederhana dan energi peleburan yang lebih kecil dibanding baja.
- d. Sifat mampu cor sangat baik, terutama di dekat komposisi eutektik.
- e. Sifat mampu permesinan yang baik.
- f. Hasil permukaan pengecoran yang baik.
- g. Ketahanan korosi baik karena terbentuknya lapisan pasif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada permukaan aluminium ketika terekspos dengan udara.
- h. Konduktor panas dan listrik yang baik.
- i. Mudah dipadu dengan unsur lain untuk meningkatkan sifat mekanik.

Selain keunggulan dari sifat-sifatnya, aluminium juga memiliki sifat-sifat negatif, antara lain<sup>[6]</sup>:

- a. Berat jenis aluminium yang rendah, memudahkan aluminium tercampur dengan pengotor (*dross*) oksida, misal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berat jenisnya (2.1 gr/mm<sup>3</sup>) hampir sama berat jenis aluminium cair (2.3 gr/mm<sup>3</sup>).
- b. Sangat mudah mengikat gas Hidrogen dalam kondisi cair, berikut ini reaksi yang terjadi:



Untuk mengatasinya dengan melakukan *degassing* atau GBF (*Gas Bubble Floation*) untuk mengikat dan mengangkat hidrogen dari aluminium cair.

- c. Mengalami penyusutan (*shrinkage*) yang cukup tinggi, antara 3.5 – 8.5 % (rata-rata 6 %), untuk mengatasinya agar benda produk cor tidak mengalami cacat *shrinkage* dengan cara melakukan perhitungan sistem tuang (*gating system*) yang tepat atau melakukan simulasi pengecoran dengan *software*.

**Tabel 2.2** Karakteristik aluminium secara umum<sup>[7]</sup>

Karakteristik	Nilai
Nomor atom	13
Berat atom (g/mol)	26.98
Valensi	3
Struktur kristal	FCC
Titik leleh (°C)	660.2
Titik didih (°C)	2480
Panas jenis (0 - 100°C) (cal/g.°C)	0.219
Konduktifitas panas (0-100°C) (cal/cms. °C)	0.57
Koefisien ekspansi linear (0-100°C) ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	23.5
Resistifitas elektrik pada 20°C ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	2.69
Kepadatan ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.6898
Modulus elastisitas (GPa)	65 – 80
Kekuatan Tarik (MPa)	70 – 505
Kekuatan Luluh (MPa)	20 – 455
Elongasi (%)	1 – 30
Kekerasan (HRB)	30 – 150
Kekuatan Geser (MPa)	42 – 325
Batas Kekuatan Fatik (MPa)	55 – 145
Poissons rasio	0.34

### 2.2.3 Sistem Tata Nama Aluminium<sup>[8]</sup>

Berdasarkan sistem tata nama yang dikeluarkan oleh *Aluminum Association* (tabel 2.3), aluminium dibagi berdasarkan jenis paduan yang digunakan. Tata nama ini menggunakan 4 digit angka dengan sebuah titik diantara digit ketiga dan keempat. Arti empat digit tersebut adalah angka pertama adalah unsur paduan utama, angka kedua & ketiga adalah spesifikasi komposisi aluminium paduan, dan angka keempat adalah bentuk produk (0 untuk produk tuang dan 1 untuk produk ingot). Contoh:

- a. Contoh Al. seri 1xx.x



Dua digit kedua menunjukkan persentase minimum Al, misal: 150.x 99.50% Al. Dan digit terakhir (setelah titik) menunjukkan bentuk produk 0 untuk produk tuang dan 1 untuk produk ingot.

b. Contoh Al. seri 2xx.x – 9xx.x

Dua digit kedua menunjukkan paduan aluminium yang berbeda. Dan digit terakhir (setelah titik) menunjukkan bentuk produk 0 untuk produk tuang dan 1 untuk produk ingot.

**Tabel 2.3** Klasifikasi aluminium paduan sesuai standar AA<sup>[8]</sup>

Seri	Unsur Paduan Utama
1XX.X	Aluminium murni (99.00% atau lebih)
2XX.X	Tembaga (Cu)
3XX.X	Si + Cu dan/atau Mg
4XX.X	Silikon (Si)
5XX.X	Magnesium (Mg)
6XX.X	Tidak dipergunakan
7XX.X	Seng (Zn)
8XX.X	Timah (Sn)
9XX.X	Unsur – unsur lain

#### 2.2.4 Pengaruh Unsur Mayor dalam Paduan Aluminium

Unsur paduan utama yang ditambahkan pada aluminium memiliki pengaruh terhadap karakteristik dan sifat mekanis aluminium. Unsur paduan utama yang terdapat pada paduan aluminium diantaranya Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn, dan Si.

a. Silikon (Si)<sup>[6]</sup>

Silikon merupakan salah satu paduan utama dari aluminium yang sering digunakan. Silikon memegang peranan penting dalam meningkatkan *castability* (fluiditas dan ketahanan *hot tear*/retak panas), terutama pada kadar 5 – 13% Si. Silikon juga meningkatkan kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), dan ketahanan aus (*wear resistance*). Bila Si > 12% , maka akan terbentuk kristal Si

“*Primary Si*” yang keras yang dapat mengurangi ekspansi panas (cocok untuk aplikasi suhu tinggi) dan mempersulit permesinan. Penambahan silikon tidak mempengaruhi penambahan berat karena berat jenis silikon yang lebih rendah daripada aluminium. Silikon dengan magnesium akan membentuk  $Mg_2Si$ , dengan besi dan unsur lainnya akan membentuk fasa kompleks yang tidak terlarut.

b. Tembaga (Cu)<sup>[9]</sup>

Kandungan tembaga yang biasa digunakan pada paduan aluminium berkisar 4 – 10%. Tembaga dapat meningkatkan kekuatan (*strength*) dan kekerasan (*hardness*) baik dalam kondisi *as-cast* dan *heat treatment* dengan membentuk  $CuAl_2$ . Paduan yang mengandung 4 – 6% Cu memberikan respon yang paling baik terhadap *thermal treatment*. Tembaga juga mengurangi ketahanan *hot tear* /retak panas, mengurangi mampu cor (*castability*), dan menurunkan ketangguhan (*toughness*).

c. Magnesium (Mg)<sup>[9]</sup>

Magnesium merupakan dasar dari kekuatan dan kekerasan pada paduan Al-Si *Heat Treated* dan umumnya dipergunakan dalam paduan kompleks Al-Si dengan Cu, Ni, dan unsur lainnya. Fase penguatan (*hardening phase*)  $Mg_2Si$  akan optimal pada kadar 0.7% Mg. Magnesium juga berperan dalam meningkatkan ketahanan korosi dan menurunkan *castability*.

d. Besi (Fe)<sup>[6]</sup>

Besi termasuk unsur pengotor pada aluminium. Besi memiliki kelarutan yang kecil pada aluminium cair (0.05% Fe). Besi meningkatkan ketahanan *hot-tear*. Jika kadar Fe > 0.05% akan menurunkan keuletan (*ductility*) dan memberikan kecenderungan penempelan atau persambungan (efek *soldering*) dengan cetakan pada *die casting*. Selain itu bila kadar Fe > 0.05% Fe maka akan terbentuk fasa-fasa tidak terlarut (*insoluble*)  $FeAl_3$ ,  $FeMnAl_6$ ,  $\alpha AlFeSi$ . Fasa ini meningkatkan kekuatan dan mengurangi *flowability*. Besi akan mendorong pembentukan fasa lumpur (*sludging phase*) dengan mangan, kromium, dan elemen lainnya.

e. Seng (Zn)<sup>[6]</sup>

Seng tidak memiliki pengaruh yang signifikan bila hanya ditambahkan ke dalam paduan aluminium-silikon. Bila dipadu bersama dengan tembaga (Cu)

dan/atau magnesium (Mg) yang dapat menghasilkan komposisi paduan *heat-treatable*, karena membentuk presipitat  $MgZn_2$ ,  $CuAl_2$ . Seng berperan untuk meningkatkan kekerasan, meningkatkan kekuatan, meningkatkan kegetasan, menurunkan ketangguhan (*toughness*), dan menurunkan ketahanan korosi.

f. Mangan (Mn)

Biasanya dianggap sebagai *impurity* pada proses *gravity casting* dan biasanya dikontrol agar berada pada level yang rendah. Pada paduan aluminium tempa, mangan merupakan paduan yang penting terutama dalam proses *work hardening* dan tidak terlalu penting pada *cast aluminium*<sup>[9]</sup>. Mangan dapat meningkatkan kekuatan, meningkatkan kekerasan, meningkatkan ketahanan temperatur tinggi, meningkatkan ketahanan korosi, dan menurunkan *castability*<sup>[6]</sup>.

g. Nikel (Ni)<sup>[6]</sup>

Kelarutan dalam aluminium maksimal 0.05%, lebih dari itu membentuk intermetalik. Fasa intermetalik ini biasanya berkombinasi dengan besi. Nikel (hingga 2%) dapat meningkatkan kekuatan pada *high-purity* aluminium tetapi mengurangi keuletan (*ductility*). Paduan biner Al-Ni jarang digunakan tetapi Ni ditambahkan pada Al-Cu dan Al-Si untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada temperatur tinggi dan untuk mengurangi koefisien ekspansi.

h. Krom (Cr)<sup>[6]</sup>

Krom umumnya merupakan tambahan pada paduan aluminium seperti: Al-Mg, Al-Mg-Si, dan Al-Mg-Zn, membentuk  $CrAl_7$  yang menghambat pertumbuhan butir (butir halus). Penambahan yang dilakukan umumnya tidak lebih dari 0.35%. Apabila berlebihan akan membentuk mikrostruktur yang kasar. *Chromium* memiliki laju difusi yang lambat sehingga akan membentuk fasa terdispersi yang halus dalam produk tempa. *Chromium* mencegah rekristalisasi pada paduan Al-Mg-Si atau paduan Al-Mg-Zn selama proses *hot working* atau dalam proses perlakuan panas.

## 2.2.5 Pengaruh Unsur Minor dalam Paduan Aluminium

Selain unsur paduan mayor, juga terdapat unsur paduan lain dalam aluminium yang jumlah/konsentrasinya relatif sangat kecil, diantaranya:

a. Berilium (Be)<sup>[9]</sup>

Berilium ditambahkan dalam ppm yang dapat mengurangi oksidasi dan inklusi dalam komposisi yang mengandung magnesium. Pada konsentrasi yang lebih tinggi (>0,004%), berilium mempengaruhi pembentukan dan komposisi intermetalik besi, dimana akan meningkatkan kekuatan dan keuletan. Selain mengubah bentuk fasa yang tidak terlarut dari *plate* menjadi *nodular*, berilium juga mengubah komposisinya serta menolak magnesium dari Al-Fe-Si kompleks. Hal ini menjadikan berilium dapat digunakan untuk aplikasi pengerasan.

b. Bismuth (Bi)

Bismuth berperan meningkatkan *machinability* paduan aluminium tuang pada konsentrasi tidak lebih dari 0,1%<sup>[9]</sup>. Bi memiliki kelarutan yang terbatas dalam aluminium solid dan membentuk fasa yang *soft*, dan fasa dengan titik lebur yang rendah dapat memicu *chip breaking* dan membantu untuk melumasi alat potong. Keunggulan Bi adalah nilai ekspansi pada proses solidifikasi menghambat *shrinkage*. Sedikit penambahan bismuth (20 – 200ppm) dapat mencegah efek berbahaya dari sodium pada *hot cracking* pada paduan aluminium-magnesium.

c. Boron (B)

Boron digunakan dalam aluminium dan paduannya sebagai penghalus butir dan untuk meningkatkan konduktivitas dengan pengendapan vanadium, titanium, kromium, dan molibdenum. Boron dapat digunakan sendirian sebagai penghalus butir, tetapi akan semakin efektif jika digunakan bersama dengan titanium. Biasanya kadar boron yang digunakan sangat kecil, sekitar 0,04%<sup>[6]</sup>.

d. Cadmium (Cd)<sup>[9]</sup>

Cadmium pada konsentrasi melebihi 0,1% akan meningkatkan permesinan. Cadmium akan menguap pada suhu 767°C, sehingga harus dicegah dengan menggunakan suhu dibawahnya.

e. Cerium (Ce)<sup>[6]</sup>

Cerium biasanya dalam bentuk *mischmetal* (senyawa langka dengan kandungan 50% - 60% Ce) yang pada paduan Aluminium dapat meningkatkan fluiditas dan mengurangi *die sticking*.

f. Fosfor (P)

Fosfor berfungsi sebagai *modifier* pada paduan aluminium hipereutektik untuk memperbaiki struktur mikro yang bertujuan meningkatkan sifat mekanis.

Fosfor sebagai *modifier* paduan Al-Si hipereutektik tersedia dalam bentuk *master alloy* (*phosopper*), aluminium fosfat, silikon fosfat, fosfor pentaklorida, atau berbagai campuran garam fosfor. Penambahan fosfor dalam rentang kadar yang efektif adalah 0.003% sampai 0.006%<sup>[9]</sup>. Penambahan fosfor harus dilakukan dengan hati-hati dengan peralatan yang kering. Fosfor bernukleasi sebagai  $AlP_3$  dan menghaluskan fasa silikon primer pada paduan Al-Si hipereutektik. Pada konsentrasi ppm, fosfor mengkasarkan struktur paduan Al-Si hipoeutektik dan mengurangi keefektifan *modifier* sodium dan stronsium.

g. Kalsium (Ca)

Kalsium adalah suatu *modifier* aluminium silikon eutektik yang lemah. Kalsium meningkatkan kelarutan hidrogen dan menyebabkan porositas pada level yang kecil. Konsentrasi kalsium kurang lebih 0,005% juga mengurangi keuletan paduan Al-Mg<sup>[9]</sup>. Kalsium mempunyai kelarutan yang rendah dalam aluminium dan membentuk intermetalik  $CaAl_4$ . Dengan silikon membentuk  $CaSi_2$  yang hampir tak larut dalam aluminium yang akan meningkatkan konduktivitas logam.

h. Karbon (C)<sup>[6]</sup>

Karbon biasanya terdapat dalam aluminium sebagai impurities dalam bentuk *axycarbide* dan karbida yang bentuknya adalah  $Al_4C_3$ <sup>[6]</sup>. Namun pembentukan karbida dengan dengan impurities lain dapat saja terjadi, misalnya dengan titanium.  $Al_4C_3$  membusuk dengan keberadaan air dan uap air, hal ini akan menyebabkan *pitting* pada permukaan.

i. Kobalt (Co)

Kobalt ditambahkan untuk beberapa paduan aluminium-silikon yang mengandung besi, dimana Co dapat mengubah *acicular*  $\beta$  (aluminum-ironsilicon) menjadi fasa aluminium-cobalt-iron yang lebih bulat yang nantinya akan meningkatkan kekuatan dan elongasi.

j. Sodium (Na)<sup>[9]</sup>

Sodium dapat memodifikasi paduan aluminium silikon eutektik. Interaksi dengan fosfor yang dapat mengurangi pengaruh modifikasi dari eutektik.

k. Stronsium (Sr)

Setrontium berfungsi sebagai *modifier* pada paduan aluminium hipoeutektik dan hipereutektik. Biasanya ditambahkan dalam bentuk Al-10Sr-

14Si atau ingot *master alloy* aluminium stronsium, tersedia juga batang Al-10Sr *master alloy* yang dapat larut lebih cepat. Penambahan stronsium pada paduan Al-Si hipoeutektik cukup diberikan sebesar 0.002% sampai 0.01% dan pada paduan Al-Si hipereutektik 0.1% sampai 0.4%<sup>[10]</sup>. Secara umum, modifikasi dengan stronsium lebih tahan terhadap *fading* (menguap) dibandingkan dengan sodium, sekitar 3-4 jam. Konsentrasi stronsium yang lebih rendah cukup efektif digunakan dengan kecepatan pembekuan yang lebih tinggi. Penambahan stronsium dalam konsentrasi yang lebih tinggi akan menyebabkan porositas pada hasil coran. Konsentrasi stronsium yang lebih tinggi juga berpengaruh merugikan terhadap efisiensi *degassing*.

#### 1. Titanium (Ti)

Titanium biasa digunakan untuk memperhalus struktur butir dari paduan aluminium *casting* ataupun ingot. Unsur ini biasanya dikombinasikan dengan sejumlah kecil boron, contoh:  $TiAl_3$ ,  $AlB_2$  atau  $(Al,Ti)B_2$ . Penghalus butir (*grain refinement*) akan membentuk nukleasi selama pembekuan. Biasanya kadar titanium yang digunakan sangat kecil antara 0.05 – 0.15% Ti<sup>[6]</sup>.

### 2.2.5 Fluiditas Aluminium

Salah satu karakteristik dari paduan aluminium adalah fluiditasnya yang sangat baik atau kemampuan paduan aluminium untuk mengisi seluruh rongga cetakan<sup>[9]</sup>. Fluiditas yang dipengaruhi beberapa faktor, antara lain:

#### a. Temperatur

Secara teori, dengan temperatur tuang yang cukup tinggi maka terjadinya *misrun* dapat dicegah. Temperatur tuang yang terlalu tinggi juga menyebabkan laju pembekuan menjadi rendah. Laju pembekuan yang rendah akan berpengaruh terhadap penurunan sifat mekanis.

#### b. Komposisi kimia

Silikon merupakan unsur paduan yang paling banyak digunakan pada aluminium. Salah satu pengaruh silikon adalah meningkatkan sifat mampu alir dan menurunkan pembentukan *shrinkage*. Penambahan silikon, terutama pada kadar  $\pm 12\%$ , akan meningkatkan *castability* (fluiditas dan ketahanan *hot tear* = retak panas) yang paling baik.

c. Tegangan permukaan dan film oksida<sup>[9]</sup>

Tegangan permukaan yang tinggi mempunyai efek meningkatkan tekanan yang dibutuhkan logam cair untuk mengalir. Sejumlah unsur mempengaruhi tegangan permukaan, terutama melalui efeknya pada tegangan permukaan oksida. Pada paduan aluminium, pengaruh sebenarnya tegangan permukaan dikalahkan oleh pengaruh karakteristik film oksida pada permukaan. Sebagai contoh, film oksida pada aluminium murni, meningkatkan tegangan permukaan tiga lipat dari sebenarnya.

d. Viskositas (*viscosity / specific gravity*)

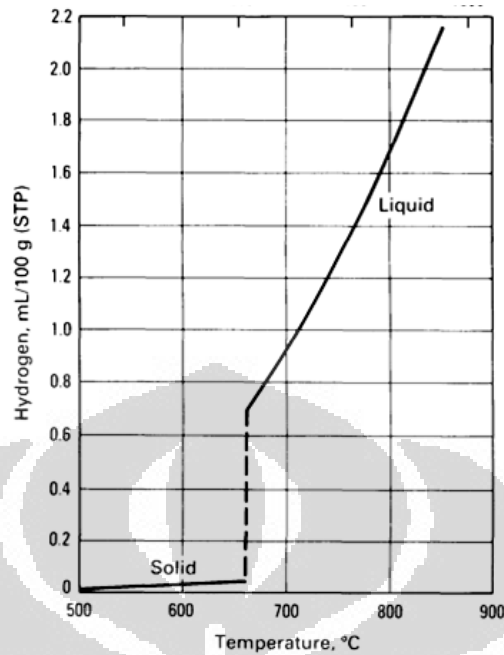
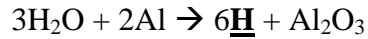
Peningkatan viskositas biasanya disebabkan oleh gas dan inklusi yang terdapat didalam paduan aluminium tuang. Viskositas yang tinggi menyebabkan turunnya sifat fluiditas paduan aluminium sehingga adanya gas – gas dan inklusi dalam paduan aluminium harus dikontrol agar viskositas tidak meningkat sehingga paduan aluminium memiliki sifat fluiditas yang baik.

e. Kebersihan lelehan

Kehadiran *dross*, inklusi, pengotor intermetalik, dan presipitat intermetalik yang tidak larut dapat mengurangi fluiditas aluminium cair<sup>[9]</sup>. Pengotor meningkatkan keausan antara lelehan dan cetakan sehingga laju alir lelehan menjadi berkurang. Beberapa jenis pengotor dapat meningkatkan kecenderungan efek *die soldering*, yaitu menempelnya sebagian lelehan dengan cetakan sehingga meningkatkan aus.

### 2.2.6 Gas Hidrogen dalam Aluminium Tuang

Hidrogen merupakan satu-satunya gas yang memiliki kelarutan yang cukup besar pada aluminium cair dan paduannya. Pada gambar 2.2 diperlihatkan bahwa kelarutan hidrogen pada aluminium meningkat tajam ketika aluminium sudah memasuki fasa cairnya. Penyerapan hidrogen pada aluminium cair terjadi apabila ada kontak antara permukaan aluminium cair dengan uap air pada atmosfer sehingga air tereduksi menghasilkan hidrogen.



**Gambar 2.2** Kelarutan Oksigen pada Aluminium pada tekanan hidrogen 1 atm<sup>[9]</sup>

Jumlah hidrogen yang tinggi pada aluminium cair dapat berdampak buruk. Selama pendinginan hidrogen terlarut berkumpul dalam bentuk molekulnya sehingga menghasilkan porositas pada benda cor. Pada logam yang pembekuannya dengan dendrit, presipitat gas terdapat pada ruangan antar lengan dendrit (*Dendrite Arm Spacing*) dan juga tersebar/terdistribusi dengan baik<sup>[11]</sup>. Ukuran diameternya biasanya antara 0.01 – 0.5 mm<sup>[11]</sup>. Pada *gravity casting*, gelembung udara umumnya terdapat pada bagian bawah inti (*core*) atau pada bagian tertinggi benda cor, yang mana gelembung udara naik setelah melalui *ingate*<sup>[11]</sup>. Gelembung udara yang gagal naik biasanya menyebabkan cacat poros yang lebih besar dibawah permukaan benda cor (*undersurface*)<sup>[11]</sup>.

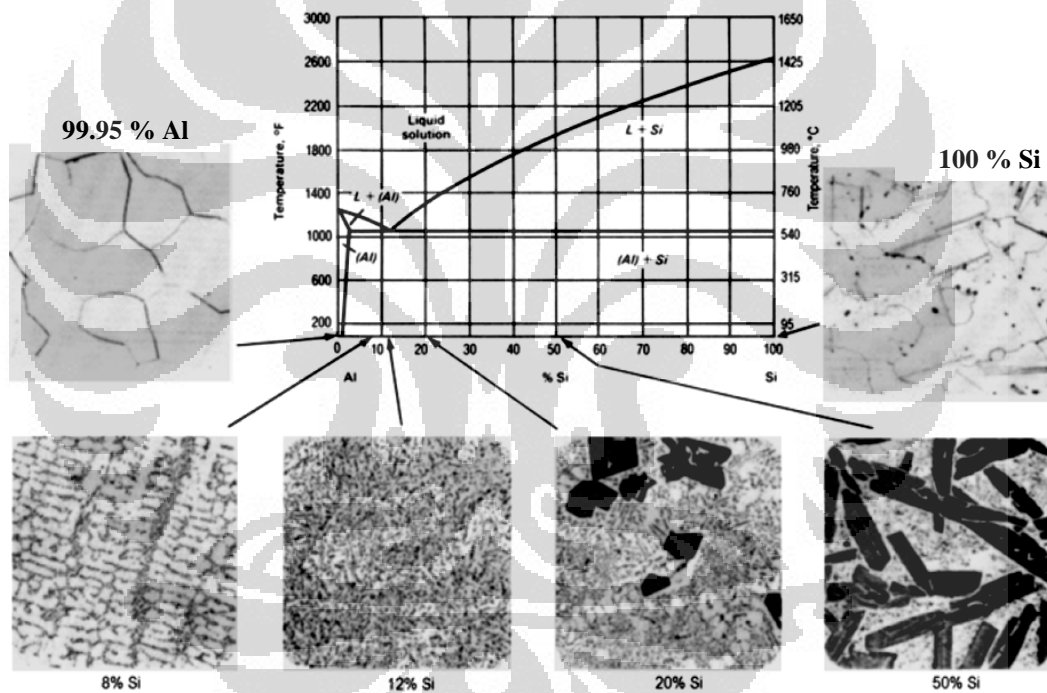
### 2.3 PADUAN ALUMINIUM SILIKON

Paduan aluminium silikon (Al-Si) merupakan paduan aluminium yang sering digunakan dalam proses pengecoran pada industri, khususnya industri otomotif. 85 – 90 % dari total produksi pengecoran aluminium adalah paduan aluminium silikon, termasuk didalam paduan Al-Si adalah Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, dan Al-Si-Cu-Mg<sup>[6]</sup>. Penggunaan paduan aluminium silikon banyak digunakan



karena mempunyai variasi sifat fisik (mampu cor, tahan korosi, mampu las), mekanis (kekuatan, kekerasan, keuletan), dan struktur mikro yang baik<sup>[6]</sup>.

Pada gambar 2.3 terdapat tiga pembagian jenis paduan Al-Si berdasarkan komposisi silikon (Si) pada paduan, yaitu komposisi paduan Al-Si hipoeutektik adalah paduan Al-Si dengan kadar  $Si < 12\%$ , komposisi paduan Al-Si eutektik adalah paduan Al-Si dengan kadar  $Si \pm 12\%$ , dan komposisi paduan Al-Si hipereutektik adalah paduan Al-Si dengan kadar  $Si > 12\%$ <sup>[2]</sup>. Untuk lebih memahami karakteristik paduan Al-Si, perlu dipahami diagram fasa Al-Si agar dapat memprediksi mikrostruktur, titik beku, sifat-sifat, dan temperatur tuangnya.



**Gambar 2.3** Diagram Fasa Al-Si dan Mikrostruktur Al-Si Tuang<sup>[2]</sup>

Pada paduan Al-Si ini terdapat struktur utama, yaitu berupa fasa eutektik yang sangat kaya akan kandungan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul walaupun pada komposisi hipereutektik karena bentuk struktur ini akan selalu terpisah pada fasa padatnya baik dalam paduan hipoeutektik, eutektik, maupun hipereutektik. Selain fasa eutektik, juga terdapat fasa yang merupakan partikel –

partikel kristal silikon (*primary silicon*) yang tidak larut dalam fasa eutektik pada paduan hipereutektik yang bentuknya kasar dan sifatnya keras.

Pada daerah hipoeutektik, kandungan Si < 12%, Si dalam paduan terlarut semua. Paduan ini memiliki mikrostruktur yang terdiri dari dendrit aluminium dalam eutektik. Keuntungan dari aluminium yang memiliki kondisi hipoeutektik adalah permesinan dan ketangguhannya lebih baik. Sedangkan kekurangannya adalah kekuatan, kekerasan, dan ketahanan ausnya lebih rendah. Sehingga bila diaplikasikan dalam industri manufaktur piston, produk akhir akan memiliki kekuatan, kekerasan, dan ketahanan ausnya yang tidak optimal.

Paduan Al-Si eutektik mempunyai kandungan Si  $\pm 12\%$  Si. Fasa yang terbentuk adalah sedikit silikon dan silikon murni sebagai fasa kedua. Kondisi eutektik pada proses pengecoran sangat diinginkan karena 2 hal, yaitu kondisi eutektik menghindari fasa lumpur dan kondisi eutektik memiliki titik lebur yang terendah. Kondisi eutektik menghindari fasa lumpur, sehingga pada saat solidifikasi tidak ada material yang membeku terlebih dahulu, sehingga kita dapat menghindari misrun dan memiliki fluiditas yang baik. Kondisi eutektik memiliki titik lebur yang terendah ( $\pm 577\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) menguntungkan karena efisien dalam bahan bakar. Proses pembekuan berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama.

Pada daerah hipereutektik, kandungan Si > 12%. Paduan ini memiliki mikrostruktur yang terdiri dari endapan partikel silikon primer dalam matriks eutektik. Adanya silikon primer dan silikon bebas yang tidak terlarut dalam fasa ini akan menambah ketahanan aus dan menjadikannya cocok untuk aplikasi pada temperatur tinggi karena memiliki ekspansi *thermal* yang rendah sehingga sangat tepat apabila digunakan untuk produk yang membutuhkan kesetabilan dimensi pada suhu tinggi, seperti piston. Paduan ini memiliki beberapa keuntungan yaitu ketahanan aus lebih baik, *flowability* tinggi, kekuatan meningkat, kekerasan meningkat, ketahanan retak panas (*hot tears*) meningkat, ekspansi termal rendah. Semakin besar komposisi silikonnya membuat partikel silikonnya sering menimbulkan masalah pada proses permesinan karena partikel silikon primer yang keras sehingga membatasi penggunaannya sebagai *casting alloy*.

### 2.3.1 Material Al-Si Hipereutektik

Pada penelitian ini digunakan material dasar paduan AC8A (11 – 13% Si) yang kemudian ditambahkan dengan Si padat 99% untuk mencapai komposisi hipereutektik ( $\pm 16\%$  Si) dari yang sebelumnya eutektik dengan komposisi unsur utama Al, Si, Cu, Mg dan Ni. Oleh karena material yang digunakan di luar dari standar komposisi dari material-material yang telah memiliki standar komposisi, dibutuhkan material pembanding komposisi untuk mengestimasi sifat-sifatnya.

**Tabel 2.4** Konversi standarisasi paduan aluminium sesuai BS 1490:1988 alloys<sup>[12]</sup>

UK	ISO	EN AC-	France	Italy UNI	USA AA/ASTM	USA SAE	Japan	End Uses
LM13	Al-Si12Cu Al-Si12CuFe	48 000	A-S12UN	3050	336	321	AC8A	Sand, chill; used for <u>pistons</u>
LM28	Al-Si19CuMgNi	-	-	6251	-	-	-	Chill; used for <u>high performance pistons</u>
LM30	Al-Si17Cu4Mg	-	-	-	390	-	-	Pressure die cast; <u>unlined cylinder blocks</u>

**Tabel 2.5** Komposisi kimia paduan aluminium sesuai BS 1490:1988 alloys<sup>[12]</sup>

Komposisi Kimia %													
Alloy	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Add. Elements	Others	
												Each	Total
LM13	0.7-1.5	0.8-1.5	10-13	1.0	0.5	1.5	0.5	0.1	0.1	0.2	-	0.05	0.15
LM28	1.3-1.8	0.8-1.5	17-20	0.7	0.6	0.8-1.5	0.2	0.1	0.1	0.2	Cr 0.6 Co 0.5	0.1	0.30
LM30	4.0-5.0	0.4-0.7	16-18	1.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	-	0.1	0.30

**Tabel 2.6** Sifat-sifat mekanis sesuai BS 1490:1998 alloys<sup>[12]</sup>

Alloy condition	Sand cast				Chill / permanent mould cast				
	0.2% Proof stress (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile stress (N/mm <sup>2</sup> )	Elong. (%)	Brinell hardness	0.2% Proof stress (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile stress (N/mm <sup>2</sup> )	Elong. (%)	Brinell hardness	Strength at elevated temperatures
LM13-TF	200	200	-	125	280	290	1	125	Excellent
LM28-TF	120	130	0.5	120	170	200	0.5	120	Good
LM30-M	-	-	-	-	150	150	-	110	Good

Keterangan:

- M: As cast
- TF: Solution treated and precipitation treated

**Tabel 2.7** Karakteristik paduan aluminium<sup>[12]</sup>

Alloy	SC	GD	Fluidity	Hot tear resist.	Press. tightness	Machinability	Corrosion resist.	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Coeff. of expansion per °C x 10 <sup>-6</sup>	Thermal conduct. at 25°C (W/mK)	Electrical conduct. at 20°C (%IACS)
LM13	G	G	G	E	F	F	G	2.70	19	117	29
LM28	P	F	F	G	F	P	G	2.68	18	134	--
LM30	*	F	G	F	F	P	F	2.73	18	134	20

Keterangan:

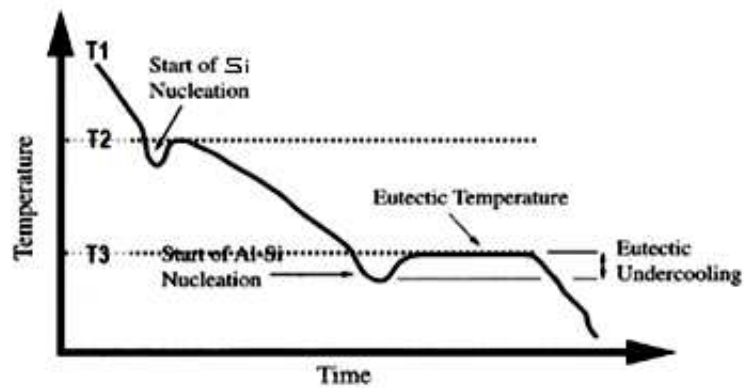
- \*: tidak normal digunakan; P: *Poor*; F: *Fair*; G: *Good*; E: *Excellent*
- SC: *Sand Casting*; GD: *Gravity Diecasting*
- *Coeff. of linear expansion* berhubungan pada suhu 20 – 100 °C
- *Thermal conduct.* akan berubah dengan kondisi pengecoran
- *Electrical conduct.* dikutip dari IACS (*International Annealed Copper Standard Units*)

Pada tabel tabel 2.4, konversi paduan Al-Si hipereutektik (16%Si) yang digunakan pada penelitian hampir sama dengan paduan LM28 dan LM30. Pada tabel 2.5 komposisi paduan Al-Si hipereutektik (16%Si) yang diteliti berata diantara paduan Al-Si LM13 dan LM28 serta LM30. Namun, karena material asal adalah paduan AC8A, maka paduan yang memiliki unsur utama (Al, Si, Cu, dan Mg) yang serupa dengan material yang diteliti adalah LM28. Tabel 2.6 digunakan untuk memperkirakan dan membandingkan sifat mekanis paduan yang diteliti. Tabel 2.7 digunakan untuk mempertegas paduan mana yang dapat digunakan pada *gravity casting* dan sifat-sifat paduannya.

### 2.3.2 Proses Pembekuan Paduan Al-Si Hipereutektik

Pada dasarnya logam mengalami tiga tahap kontraksi ketika membeku dari cair ke padat, yaitu kontraksi cair, kontraksi pembekuan, dan kontraksi padat. Kontraksi cair terjadi ketika logam mendingin dari temperatur tuang ke temperatur beku. Kontraksi pembekuan terjadi ketika logam melalui tahap pembekuan. Kontraksi padat terjadi pada saat logam mendingin dari temperatur beku ke temperatur ruang. Kontraksi cair dan pembekuan dapat menyebabkan *shrinkage* sedangkan kontraksi padat dapat menyebabkan *hot-tear*<sup>[13]</sup>.

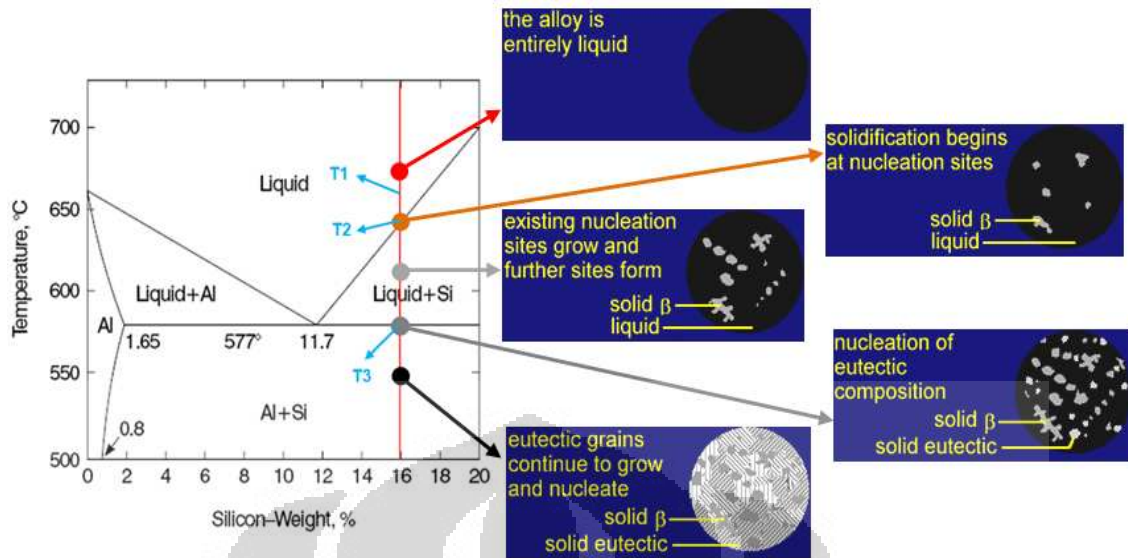
Pada gambar 2.4, temperatur tuang adalah T1, temperatur *liquidus* adalah T2, dan temperatur solidus adalah T3. Perbedaan antara temperatur tuang (T1) dan *liquidus* (T2) dinamakan *superheat*. Sedangkan daerah diantara temperatur *liquidus* dan *solidus* (T3) dinamakan *mushy zone* (zona lumpur).



Gambar 2.4 Grafik pembekuan paduan Al-Si hipereutektik<sup>[14]</sup>

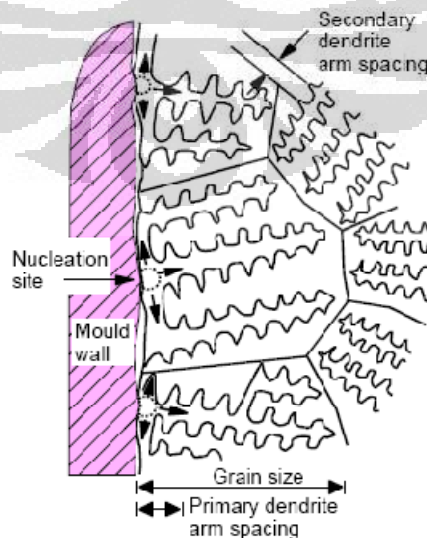
Pada gambar 2.5, pembekuan dimulai ketika aluminium cair mencapai temperatur  $T_2$ , ditandai dengan terbentuknya Si primer<sup>[14]</sup>. Awal pembekuan harus terjadi di bawah temperatur  $T_2$  untuk dapat membentuk inti awal silikon primer. Disini terlihat adanya selisih temperatur antara  $T_2$  dan temperatur pembekuan aktual dibawah  $T_2$ . Selisih temperatur tersebut dinamakan *undercooling*. Silikon primer yang terbentuk memiliki struktur dendritik<sup>[14]</sup>. Pembekuan terus berlangsung dengan makin banyaknya terbentuk Si primer hingga mencapai temperatur  $T_3$ .

Pertumbuhan dendrit berhenti ketika aluminium cair sudah mencapai temperatur  $T_3$ <sup>[15]</sup>. Pembekuan aluminium cair seluruhnya dimulai ketika mencapai temperatur  $T_3$ . Awal pembekuan harus terjadi di bawah temperatur  $T_3$  untuk dapat membentuk inti eutektik. Disini terlihat adanya selisih temperatur antara  $T_3$  dan temperatur pembekuan aktual di bawah  $T_3$ . Selisih temperatur tersebut dinamakan *eutectic undercooling*. Setelah terjadi pengintian eutektik, semua Aluminium cair berubah menjadi eutektik padat. Dibawah temperatur  $T_3$ , fasa-fasa yang terjadi karena adanya penambahan unsur lain seperti Cu dan Mg biasanya mulai terbentuk tergantung komposisi paduannya<sup>[15]</sup>. Mikrostruktur akhir adalah silikon primer dan eutektik sebagai matriksnya.



**Gambar 2.5** Proses pembekuan paduan Al-Si hipereutektik dan struktur mikronya<sup>[16]</sup>

Dendrit merupakan struktur aluminium padat menyerupai pohon yang tumbuh ketika aluminium cair yang *undercooled* membeku. Dalam Gambar 2.6 diperlihatkan bagaimana dendrit terus menjalar diikuti dengan pertumbuhan lengan dendrit (*dendrite arms*). Panjang lengan dendrit utama dinamakan *dendrite arm spacing* (DAS), sedangkan jarak antara dua buah lengan dendrit dari lengan utamanya dinamakan *secondary dendrite arm spacing* (SDAS)<sup>[6]</sup>. Nantinya, dendrit dapat dikenali sebagai butir-butir aluminium pada mikrostruktur akhir<sup>[11]</sup>.



**Gambar 2.6** Formasi pembentukan dendrit yang saling merakit membentuk butir<sup>[11]</sup>

## 2.4 MODIFIKASI PADUAN ALUMINIUM

### 2.4.1 *Modifier*

*Modifier* adalah sejumlah unsur kimia yang ditambahkan ke paduan yang bertujuan memodifikasi struktur paduan tersebut. Penambahan *modifier* pada paduan Al-Si pada dasarnya bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanis, meningkatkan mampu permesinan, mengurangi *hot tearing*, mengurangi waktu *heat treatment*, mengontrol distribusi porositas, meningkatkan *die filling*, dan mengurangi *die sticking*. Perbaikan sifat dari material tersebut tidak terlepas dari perubahan pada mikrostruktur material aluminium ketika ditambahkan *modifier*.

Pada paduan Al-Si hipereutektik (> 12% Si) akan terbentuk kristal Si yang keras dan Si eutektik kasar sehingga mempunyai sifat ekspansi termal yang rendah, mampu permesinan, dan sifat mekanis yang kurang baik. Penambahan unsur-unsur *modifier*, seperti stronsium (Sr), menyebabkan perubahan pada proses pembekuan, karakteristik morfologi dari bentuk Si primer dan Si eutektik. Fungsi dari *modifier* tersebut adalah untuk mengubah struktur Si primer dan Si eutektik, yang semula berbentuk kasar menjadi bentuk yang halus.

### 2.4.2 Unsur-Unsur *Modifier*

Beberapa unsur yang biasa digunakan sebagai *modifier*, seperti sodium, stronsium, kalsium, dan antimoni yang digunakan pada paduan Al-Si hipoeutektik, serta fosfor yang digunakan pada paduan Al-Si hipereutektik. berikut penjelasan unsur-unsur *modifier* tersebut<sup>[9]</sup>:

#### a. Sodium (Na)

Biasanya sodium ditambahkan dalam bentuk metalik, dipadukan dengan aluminium untuk mencegah sifat alaminya yang mudah terbakar dalam udara. Sodium harus dicelupkan dalam logam cair dan diaduk dengan hati-hati dalam waktu yang singkat untuk mendapatkan pelarutan dan persebaran yang baik. Alternatif lain bisa ditambahkan dalam bentuk tablet flux garam yang mengandung sodium. Tindakan pencegahan untuk menghindari oksidasi sodium bisa dilakukan dengan penyimpanan yang sesuai, penggunaan peralatan yang bersih dan kering. *Fading* meningkat dengan tingkat pengadukan yang berlebih, *degassing*, waktu tahan yang terlalu lama dan temperatur yang terlalu tinggi.

Pada umumnya sodium ditambahkan sekitar 0.015% sampai dengan 0.020% untuk mendapatkan modifikasi yang memadai, dengan menghasikan tingkat sisa sodium dalam coran sebesar 0.002%. Sodium sebaiknya tidak digunakan dalam paduan aluminium dengan kadar Mg lebih dari 1% karena kemungkinan dapat menyebabkan penggetasan.

b. Stronsium (Sr)

Stronsium biasanya ditambahkan dalam bentuk Al-10Sr-14Si atau ingot *master alloy* aluminium stronsium, tersedia juga batang Al-10Sr *master alloy* yang dapat larut lebih cepat. Penambahan stronsium pada paduan Al-Si hipoeutektik cukup diberikan sebesar 0.002% - 0.01% dengan waktu *fading* selama 3 – 4 jam<sup>[6]</sup>. Secara umum, modifikasi dengan stronsium lebih tahan terhadap *fading* dibandingkan dengan sodium. Konsentrasi stronsium yang lebih rendah cukup efektif digunakan dengan kecepatan pembekuan yang lebih tinggi.

Stronsium juga dapat digunakan pada paduan Al-Si hipereutektik, tetapi dengan jumlah yang lebih banyak dibanding pada paduan Al-Si hipoeutektik, yaitu antara 0.1% - 0.35% Sr<sup>[10]</sup>. Penambahan stronsium yang lebih banyak pada paduan Al-Si hipereutektik menjadikan proses modifikasi lebih efektif yang bertujuan memperbaiki silikon eutektik yang terdapat pada mikrostrukturnya agar lebih halus. Penambahan stronsium dalam konsentrasi yang lebih tinggi akan menyebabkan porositas pada hasil coran sehingga merugikan efisiensi *degassing*.

c. Kalsium (Ca)

Kalsium ditambahkan sebagai *modifier* dalam bentuk master alloy yang mengandung 5% Si. Kadar penambahan kalsium biasanya sekitar 0.01%. Kalsium juga lebih tahan terhadap *fading* dibandingkan dengan sodium, walaupun *holding* yang terlalu lama akan menyebabkan kehilangan kalsium (*fading*).

d. Antimoni (Sb)

Antimoni merupakan unsur *modifier* yang banyak digunakan di Eropa dan Jepang. Unsur *modifier* ini biasanya ditambahkan sekitar 0.12% dan akan menjadi unsur paduan yang permanen pada paduan aluminium. Oleh karena itu sudah ditambahkan oleh penyuplai dalam ingot pengecoran dan tidak perlu ditambahkan lagi ketika proses pengecoran. Antimoni tidak dipengaruhi oleh waktu *holding*, *remelting*, atau *degassing*. Paduan aluminium yang dimodifikasi dengan antimoni



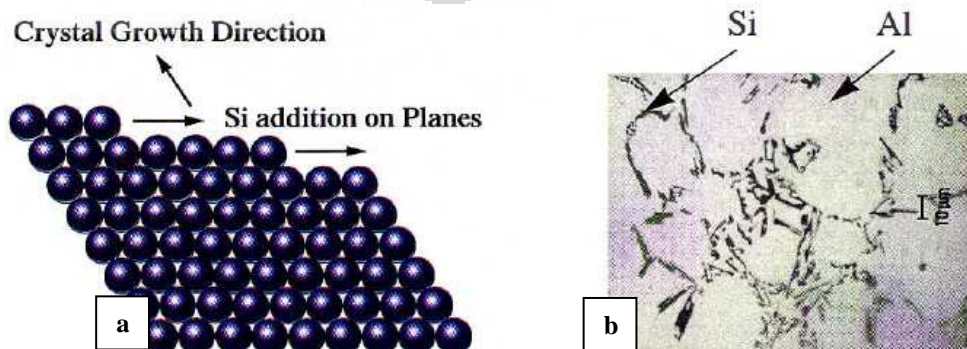
memiliki *susceptibility* terhadap gas lebih rendah dibanding dengan sodium atau stronsium. Kelemahannya adalah masalah kontaminasi dan bersifat racun.

e. Fosfor

Fosfor sebagai *modifier* paduan Al-Si hipereutektik tersedia dalam bentuk *master alloy* (*phoscopper*), aluminium fosfat, silikon fosfat, fosfor pentaklorida atau berbagai campuran garam fosfor. Fosfor yang ditambahkan antara 0.003% - 0.015%, dengan penambahan paling baik antara 0.003% - 0.006%<sup>[4]</sup>. Penambahan fosfor harus dilakukan dengan hati-hati dengan peralatan yang kering. Fosfor bernukleasi sebagai  $AlP_3$  dan menghaluskan fasa silikon primer pada paduan Al-Si hipereutektik. Pada konsentrasi ppm, fosfor mengkasarkan struktur paduan Al-Si hipoeutektik dan mengurangi keefektifan *modifier* Na dan Sr.

### 2.4.3 Mekanisme Modifikasi

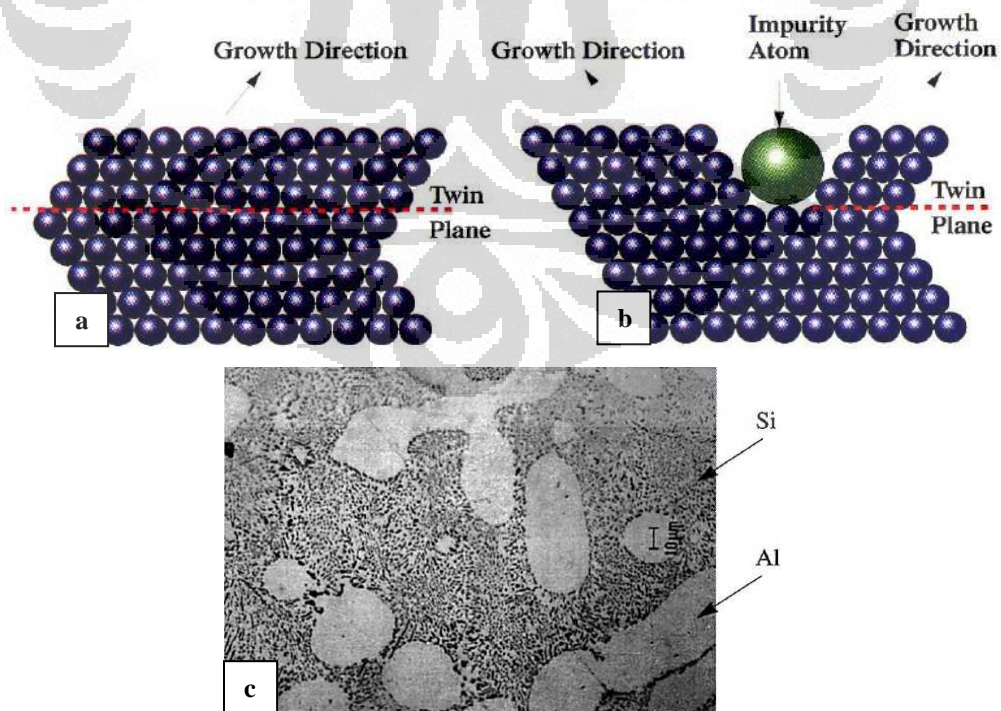
Dalam paduan Al-Si, fasa silikon memegang peranan penting dalam proses modifikasi. Silikon adalah unsur non logam dan memiliki bentuk kristal dalam paduan aluminium. Pada gambar 2.7.a, kristal silikon memiliki suatu keunikan dalam pertumbuhannya, keunikan pertumbuhan dari silikon disebut dengan *faceted manner*, maksudnya adalah bahwa kristal silikon hanya memiliki arah kristalografi tertentu dalam pertumbuhannya<sup>[4]</sup>. Secara skematis dimana atom-atom silikon bertambah pada bidang yang membentuk sudut dengan bidang pertumbuhannya. Silikon yang tidak termodifikasi akan tampak seperti pelat dengan ujung yang tajam, *angular feature* yang disebut *acicular* seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.7.b<sup>[15]</sup>.



Gambar 2.7 (a) Pertumbuhan silikon, (b) *Acicular* silikon<sup>[15]</sup>

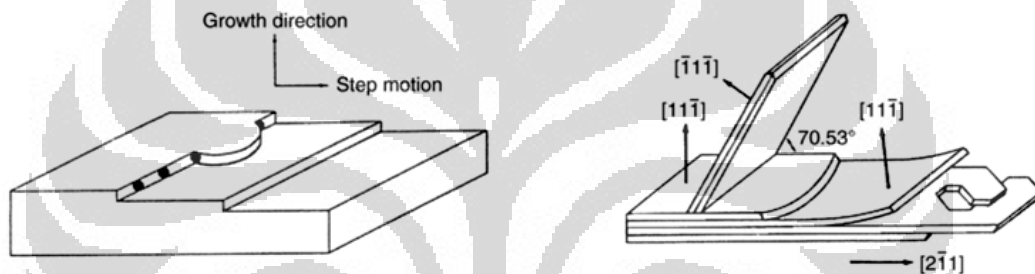
Selama proses pertumbuhan kristal ini, memungkinkan terbentuknya cacat yang menyebabkan perubahan arah kristal yang disebut cacat *twin*. Cacat *twin* merupakan salah satu bentuk cacat kristalografi yang dapat terbentuk pada saat sekumpulan atom silikon mengalami pergeseran posisi melewati suatu bidang kristalografi. Hal ini terjadi secara natural dan juga dapat disebabkan jika terdapat atom asing pada bidang pertumbuhan silikon sehingga mengganggu struktur<sup>[15]</sup>.

Pembentukan *twin* secara natural biasanya terjadi hanya dalam jumlah yang kecil sehingga pengaruhnya pada struktur kristalin juga kecil. Pada gambar 2.8.a&b, *twinning* disebabkan karena adanya pengotor (*impurity-induced twinning*) akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap arah pertumbuhan kristal silikon dimana adanya endapan pengotor yang berulang pada bidang pertumbuhan kristal silikon menyebabkan percabangan kristal silikon secara terus menerus. Hal ini menghasilkan mikrostruktur silikon yang *fibrous* (gambar 2.8.c). Pengotor yang dimaksud adalah *modifier* yang ditambahkan pada paduan. Ukuran dari atom pengotor akan menjadi faktor utama yang menentukan apakah akan terbentuk *twin* atau tidak<sup>[15]</sup>.



**Gambar 2.8** (a) *Natural twin*, (b) *Impurity induced twin*, (c) *Fibrous structure of modified silicon (Al-Si12) 500X*<sup>[15]</sup>

Pada gambar 2.9, kristal silikon memiliki arah bidang  $\langle 211 \rangle$  dan arah pertumbuhan  $\langle 111 \rangle$ . Proses pembekuan dapat diilustrasikan seperti anak tangga, dimana terjadi penambahan atom pada antar muka solid-liquid yang berlangsung pada setiap arah pertumbuhannya<sup>[4]</sup>. Fenomena ini memungkinkan terjadinya cabang pada struktur kristal silikon sangatlah kecil. Pada saat digunakan elemen modifikasi, maka akan dihasilkan struktur kristalografi dengan jumlah bidang kembar (*twinning*) yang lebih banyak daripada tanpa modifikasi. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa keberadaan elemen modifikasi akan mengganggu tahapan pertumbuhan kristal silikon yang menyebabkan terjadinya *twinning*.



**Gambar 2.9** Adsorpsi atom *impurities* pada pertumbuhan kristal silikon yang menyebabkan terjadinya mekanisme *twinning*<sup>[2]</sup>

#### 2.4.4 Overmodifikasi

Overmodifikasi merupakan peristiwa penambahan *modifier* yang berlebih sehingga menghasilkan struktur silikon yang kembali menjadi bentuk jarum yang kasar dan/atau terbentuknya fasa intermetalik yang menyebabkan tumbuhnya silikon primer kasar dan saling terhubung. Penambahan sodium lebih dari 0.02% menyebabkan overmodifikasi yang berhubungan dengan pembentukan senyawa AlSiNa dan menyebabkan tumbuhnya silikon primer yang kasar<sup>[6]</sup>.

Overmodifikasi stronsium akan menyebabkan terbentuknya fasa intermetalik  $Al_4SrSi_2$  yang akan menurunkan sifat mekanik paduan. Selain itu, terjadi pengkasaran partikel silikon primer dan perubahan bentuk dari silikon bulat yang halus ke bentuk jarum yang saling berhubungan<sup>[6]</sup>. Pada *gravity casting*, overmodifikasi akan meningkatkan kecenderungan terjadinya cacat *misrun* sehingga menurunkan sifat mekanis coran<sup>[6]</sup>.

Fenomena overmodifikasi juga terjadi pada modifikasi fosfor. Jumlah penambahan fosfor yang berlebih pada paduan Al-22%Si akan membuat ukuran silikon primer kembali menjadi besar. Overmodifikasi pada fosfor sering disebut sebagai *over refinement*<sup>[4]</sup>.

#### **2.4.5 Modifier Fading**

Setelah ditambahkan ke dalam aluminium cair, sifat *modifier* secara berkala akan menghilang atau memudar, peristiwa itu disebut sebagai *fading*. Fenomena *fading* ini disebabkan oleh penguapan karena tekanan uap pada aluminium cair yang tinggi atau karena *modifier* teroksidasi. Bisa juga *fading* ini disebabkan karena *modifier* berikatan dengan unsur lain dalam bentuk persenyawaan sehingga tidak efektif lagi sebagai *modifier*. *Modifier* yang baik adalah dalam bentuk atom bebas. Level *fading* sodium dan stronsium menurun dengan bertambahnya waktu tunggu (*holding time*). *Fading* pada stronsium lebih lambat dibandingkan dengan sodium karena sifat stronsium yang tidak mudah menguap. Berdasarkan penelitian, waktu *fading* stronsium sekitar 3-4 jam<sup>[6]</sup>.

### **2.5 PENGARUH STRONSIUM PADA PADUAN ALUMINIUM SILIKON**

Stronsium biasanya ditambahkan dalam bentuk Al-10Sr-14Si atau ingot *master alloy* aluminium stronsium, tersedia juga batang Al-10Sr *master alloy* yang dapat larut lebih cepat. Penambahan menggunakan Sr murni tidak efektif karena mudah untuk bereaksi dengan udara ataupun uap air, sehingga dalam waktu singkat terbentuk lapisan oksida yang membentuk SrO, SrO<sub>2</sub>, Sr(OH)<sub>2</sub> dan (CaSr)NO<sub>3</sub>. Pembentukan lapisan oksida ini tentunya membuat sulitnya pelarutan material ini pada aluminium. Stronsium yang ditambahkan pada paduan Al-Si hipereutektik komposisi diatas 0.1% Sr<sup>[4]</sup>.

#### **2.5.1 Pengaruh Sr Terhadap paduan Al-Si Hipoeutektik**

##### **2.5.1.1 Pengaruh Sr terhadap struktur mikro**

Penggunaan Sr sebagai *modifier* pada paduan aluminium tuang dapat mengubah sifat-sifat mekanis paduan. Perubahan sifat-sifat mekanis ini

disebabkan karena Sr mengubah struktur mikro paduan Al-Si tuang. Struktur mikro yang mempengaruhi sifat-sifat mekanis antara lain<sup>[4]</sup>:

1. Ukuran, bentuk, dan distribusi fasa intermetalik
2. Jarak antar lengan dendrit (*Dendrite Arm Spacing/DAS*)
3. Ukuran dan bentuk butir
4. Modifikasi eutektik dan penghalusan fasa primer

Terdapat lima variabel yang mempengaruhi struktur mikro suatu paduan Al-Si hipoeutektik, yaitu<sup>[4]</sup>:

1. Tipe *modifier* yang dipakai
2. Pengotor dalam leburan
3. Jumlah *modifier* yang dipakai
4. Kecepatan pembekuan
5. Jumlah silikon dalam paduan

Penambahan *modifier* Sr pada paduan Al-Si hipoeutektik menghasilkan jaringan eutektik *fibrous* atau *lamellar* yang lebih halus. Penambahan Sr ini akan menekan pertumbuhan kristal Si dalam eutektik sehingga menyebabkan distribusi *lamellar* yang lebih halus relatif terhadap pertumbuhan eutektik.

Penambahan Sr akan mengubah pola pembentukan dendrit. Pada kondisi tidak termodifikasi sel dendrit akan tumbuh secara paralel sedangkan pada kondisi termodifikasi sel dendrit tumbuh dengan membentuk cabang-cabang. Pola pembentukan pada struktur termodifikasi ini menghasilkan bentuk *equiaxed* pada sel dendrit sehingga panjang lengan dendrit primer menjadi pendek. Bentuk *equiaxed* terjadi karena dendrit tumbuh secara radial mengelilingi fasa liquid yang berada disekitarnya.

#### 2.5.1.2 Pengaruh Sr terhadap kekuatan tarik paduan Al-Si

Paduan Al-Si-Cu banyak dipakai dalam industri pengecoran karena sifat mekanis, ketahanan korosi, dan mampu cor (*castability*) yang baik. Namun, paduan ini memiliki Si eutektik yang berbentuk *acicular* sehingga sifatnya getas (menjadi lokasi konsentrasi tegangan). Pengaruh Sr sebagai *modifier* adalah mengubah bentuk Si eutektik menjadi bentuk *fibrous* yang halus dan bulat sehingga keuletan dan kekuatan tarik meningkat. Kecepatan pembekuan, jumlah

porositas, dan jumlah *modifier* yang dipakai merupakan variabel-variabel yang harus dikontrol selama pengecoran. Bila variabel-variabel tersebut tidak terkontrol maka hasil yang diperoleh dari pengujian tarik akan mengalami penurunan.

#### 2.5.1.3 Pengaruh Sr terhadap kekerasan paduan Al-Si

Proses modifikasi menghasilkan struktur Si yang halus dan bulat sehingga kekerasan meningkat. Namun, seperti telah diketahui bahwa penambahan *modifier* meningkatkan porositas pada produk akhir yang dihasilkan. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan kekerasan dari efek modifikasi menjadi tidak terlihat. Peningkatan kekerasan karena efek *modifier* juga disebabkan oleh distribusi, ukuran, dan bentuk dari fasa-fasa intermetalik yang terbentuk<sup>[5]</sup>. Fasa intermetalik yang berukuran besar, tersebar merata, dan terbentuk secara kontinyu meningkatkan kekerasan paduan aluminium.

### 2.5.2 Pengaruh Sr Terhadap paduan Al-Si Hipereutektik

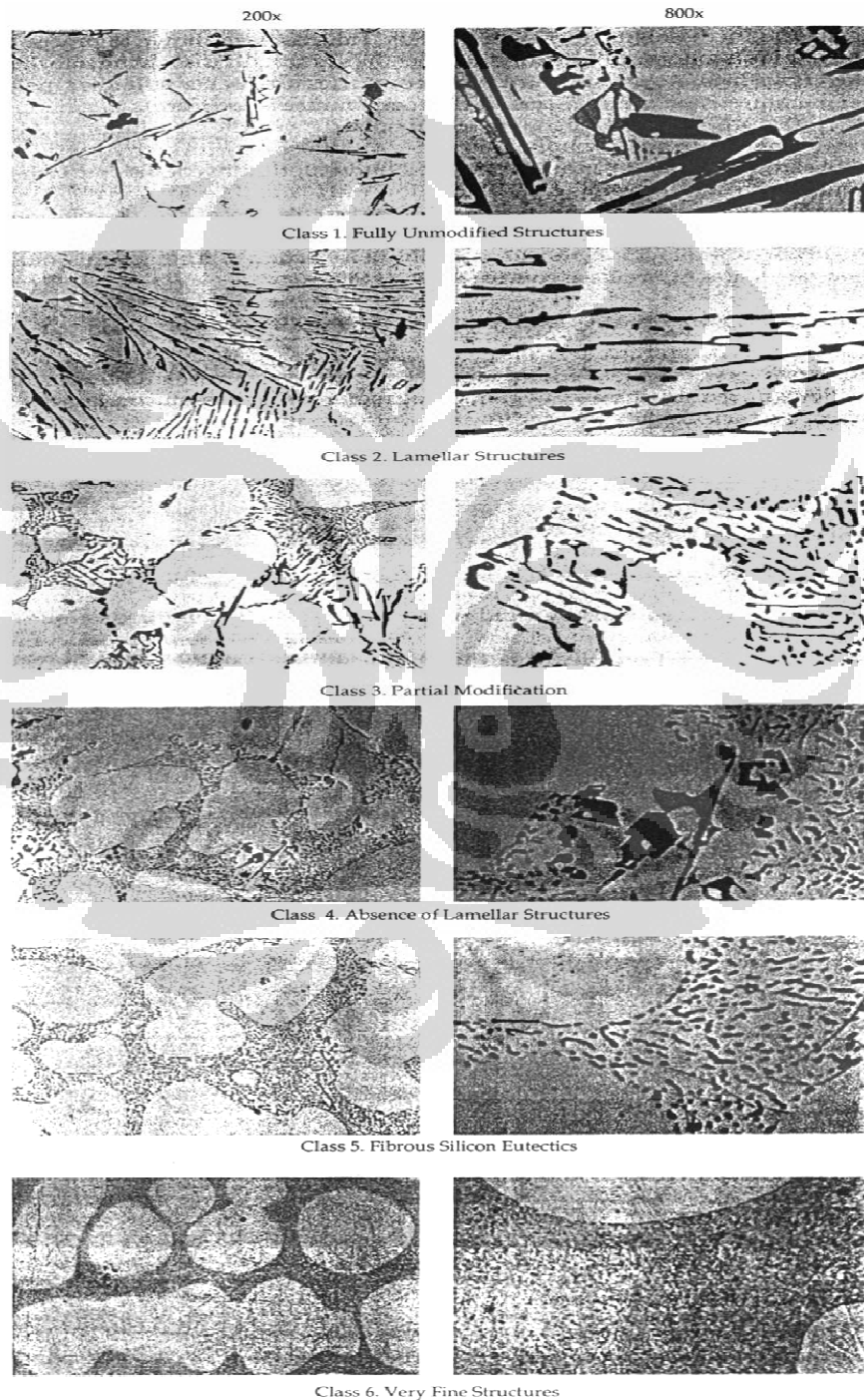
#### 2.5.2.1 Pengaruh Sr terhadap struktur mikro

Modifikasi struktur adalah hal yang penting dalam pengembangan paduan Al-Si. Modifikasi adalah perubahan bentuk struktur mikro yang kasar (*flake*) menjadi bentuk serabut halus atau lebih bulat. Dalam keadaan normal tanpa modifikasi, Si primer dan Si eutektik menjadi masalah karena kasar dan penyebarannya tidak merata sehingga berpengaruh pada sifat mekanis yang kurang baik. Untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik pada dasarnya adalah dengan cara mengubah bentuk Si primer dan Si eutektik secara bersamaan<sup>[4]</sup>.

Penambahan *modifier* ini mempengaruhi nukleasi dan pertumbuhan butir. Penambahan stronsium akan mengubah mengubah bentuk silikon eutektik dari bentuk serpihan *acicular* menjadi bentuk *fibrous* yang halus. Selain mengubah Si eutektik, Sr juga membuat fasa intermetalik lebih halus dan tersebar merata. *Modifier* harus diberikan secara optimal karena overmodifikasi akan menyebabkan terbentuknya  $Al_4SrSi_2$  yang justru akan menghambat modifikasi<sup>[4]</sup>.

Menurut John E. Gruzleski dan Bernard M. Closset dalam bukunya *The Treatment of Liquid Aluminium-Silikon Alloys*, struktur Si eutektik yang mungkin terjadi pada modifikasi paduan Al-Si dibagi menjadi enam kelas, seperti yang

ditunjukkan pada gambar 2.10, dimana kelas 5 adalah struktur modifikasi yang paling baik dan kelas 2 – 4 adalah *undermodified* dengan struktur *lamellar* pada kelas 2. Kelas 6 merupakan struktur yang sangat halus (*supermodified*). Kebanyakan struktur yang terbentuk dari hasil pengecoran adalah kelas 1 – 5<sup>[4]</sup>.



**Gambar 2.10** Sistem tingkatan pada struktur mikro modifikasi<sup>[4]</sup>

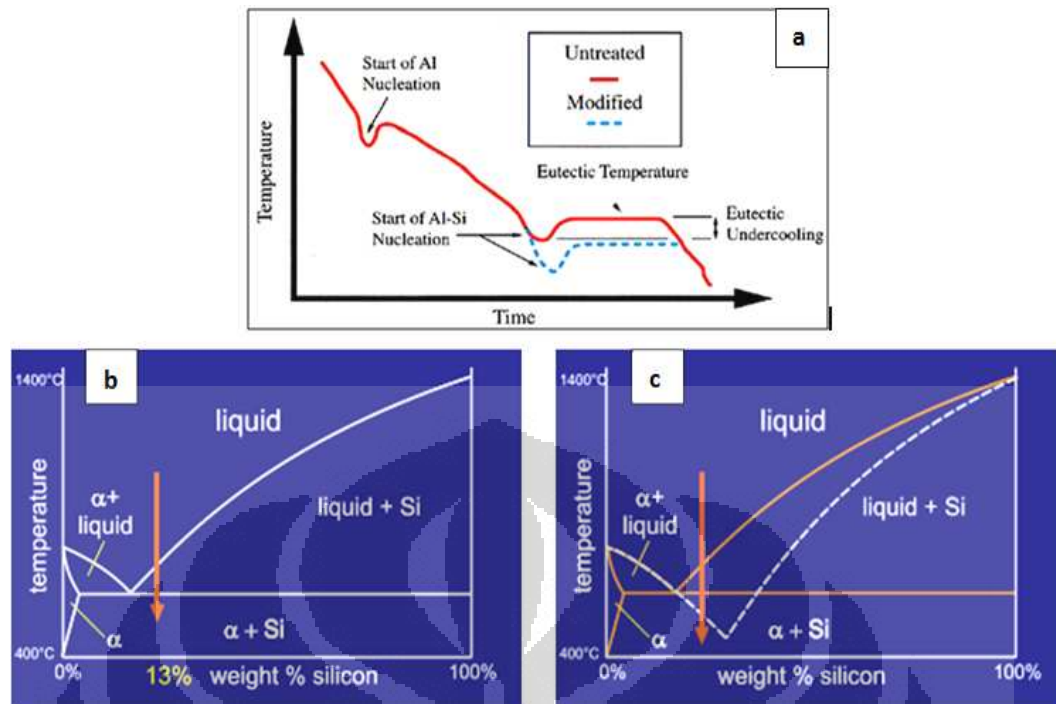
Penggunaan Sr sebagai *modifier* akan mempengaruhi ukuran, bentuk, dan distribusi fasa intermetalik, jarak antar lengan dendrit (DAS), ukuran dan bentuk butir<sup>[11]</sup>. Dengan demikian, proses modifikasi ini diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanis, sifat mampu mesin, meningkatkan mampu alir, dan mengurangi kecenderungan retak panas (*hot tearing*).

Penambahan Sr juga memodifikasi dendrit yang tumbuh secara paralel membentuk cabang-cabang. Pola pembentukan ini menghasilkan bentuk *equiaxed* pada sel dan memperpendek panjang lengan dendrit primer. Bentuk yang *equiaxed* akan meningkatkan sifat mekanis paduan Al-Si-Cu. Semakin kecil ukuran dendrit maka semakin besar pesebaran fasa intermetalik dalam paduan.

#### 2.5.2.2 Pengaruh Sr terhadap temperatur dan komposisi eutektik

Pada gambar 2.11, penambahan *modifier* seperti stronsium atau natrium akan mengubah temperatur eutektik dan komposisi. Temperatur eutektik akan menurun dan komposisi eutektik akan bergeser ke daerah dengan kadar silikon yang lebih tinggi pada diagram fasa. Besarnya perubahan pada temperatur dan komposisi eutektik tergantung pada kondisi pembekuan yaitu laju pertumbuhan (R) dan gradien temperatur (G). Berdasarkan teori nukleasi dan pertumbuhan konvensional, penurunan temperatur eutektik disebabkan oleh penekanan nukleasi. Ada juga yang berpendapat bahwa penurunan temperatur eutektik disebabkan karena perubahan pertumbuhan. Dalam hal ini *modifier* berfungsi untuk menekan pertumbuhan silikon primer yang akan mengakibatkan penurunan liquidus Si<sup>[17]</sup>.



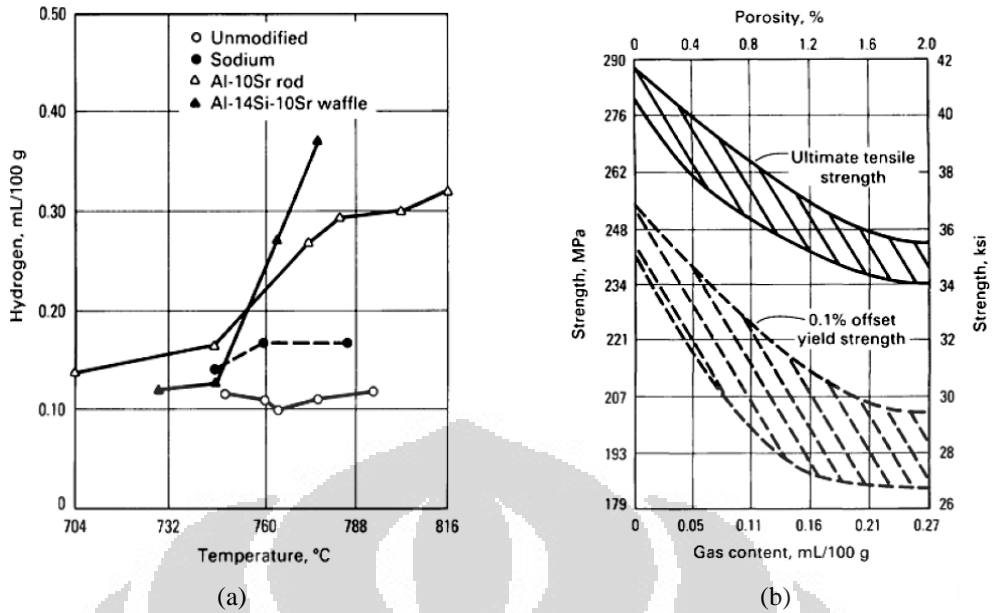


**Gambar 2.11** (a) Analisis termal pembekuan paduan Al-Si; Diagram fasa Al-Si pada komposisi Al-13Si (b) *unmodified*, (c) *modified* oleh 0.01%Na<sup>[16,18]</sup>

Penurunan temperatur eutektik berdampak pada meningkatnya mampu alir aluminium cair. Aluminium cair mempunyai waktu yang lebih banyak untuk mengisi cetakan karena menurunnya temperatur pembekuan. Komposisi eutektik yang bergeser ke arah jumlah silikon yang lebih banyak dapat berpengaruh pada mikrostruktur, sehingga fasa eutektik pada mikrostruktur paduan Al-Si hipereutektik lebih banyak dan jumlah silikon primer berkurang.

### 2.5.2.3 Pengaruh Sr terhadap porositas

Modifikasi selalu dihubungkan dengan perubahan porositas. Penambahan *modifier*, seperti Sr, meningkatkan jumlah gas hidrogen terlarut (gambar 2.12.a). Benda cor yang tidak termodifikasi biasanya mempunyai poros makro dan *shrinkage* yang besar. Namun, dengan penambahan *modifier* poros makro yang besar akan berubah menjadi porositas yang halus dan terdistribusi merata sehingga meningkatkan sifat mekanisnya, seperti kekuatan tarik (gambar 2.12.b).

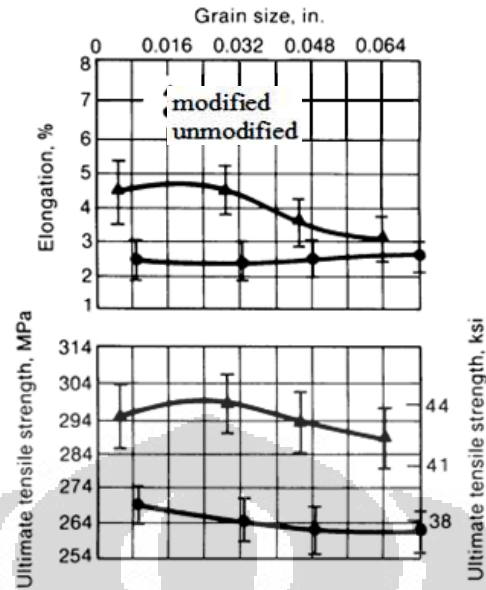


**Gambar 2.12** (a) Kandungan hidrogen sebagai fungsi dari temperatur *holding* paduan A356 cair, (b) Pengaruh kandungan gas terhadap *tensile* dan *yield strength* paduan A356<sup>[9,18]</sup>

Nukleasi poros yang semakin mudah dalam aluminium cair dikarenakan penurunan tegangan permukaan. Jika poros lebih mudah terbentuk, maka poros akan terbentuk lebih dahulu selama pendinginan sehingga jumlahnya lebih banyak, lebih kecil, dan terdistribusi merata dalam produk coran. Penambahan Sr juga akan memodifikasi dendrit yang tumbuh. Oleh karena pengaruh *modifier*, presipitat gas terdapat pada ruangan antar lengan dendrit (DAS) menjadi tersebar/terdistribusi dengan baik sehingga poros pun ikut terdistribusi dengan baik dengan ukuran yang lebih halus<sup>[11]</sup>.

#### 2.5.2.4 Pengaruh Sr terhadap kekuatan tarik

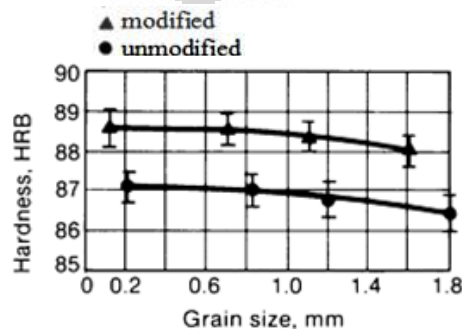
Modifikasi struktur Si dengan penambahan Sr akan meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan paduan (gambar 2.13). Kekuatan tarik paduan Al-Si hipereutektik sangat dipengaruhi oleh Si primer dan Si eutektik. Hal ini terjadi karena perubahan bentuk butir yang kasar menjadi halus dan *fibrous*. Sr yang sangat berperan mengubah Si eutektik menjadi lebih halus berpengaruh meningkatnya sifat mekanis, seperti kekuatan tarik, elongasi, kekerasan, dan keausan. Bentuk Si eutektik yang kasar memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi sehingga memiliki sifat mekanis yang rendah, dan juga sebaliknya.



**Gambar 2.13** Sifat mekanis spesimen tarik *as-cast* paduan A356 sebagai fungsi dari modifikasi dan ukuran butir<sup>[9]</sup>

#### 2.5.2.5 Pengaruh Sr terhadap kekerasan

Proses modifikasi menghasilkan struktur Si yang halus dan bulat sehingga meningkatkan kekerasan dari paduan Al-Si (gambar 2.14). Penambahan *modifier* juga meningkatkan porositas pada produk akhir yang dihasilkan sehingga menurunkan kekerasan. Kekerasan erat kaitannya dengan ketahanan aus, semakin keras material maka semakin sulit material untuk terkoyak material lain ketika bergesekan. Peningkatan kekerasan karena efek *modifier* juga disebabkan oleh distribusi, ukuran, dan bentuk dari fasa-fasa intermetalik yang terbentuk. Fasa intermetalik yang berukuran kecil, tersebar merata, dan terbentuk secara kontinyu meningkatkan kekerasan paduan aluminium.



**Gambar 2.14** Sifat mekanis spesimen keras *as-cast* paduan A356 sebagai fungsi dari modifikasi dan ukuran butir<sup>[9]</sup>

#### 2.5.2.6 Pengaruh Sr terhadap keausan

Modifikasi dapat meningkatkan ketahanan aus pada paduan Al-Si hipereutektik karena kaitannya dengan kondisi struktur mikro. Ketahanan aus yang tinggi dapat diperoleh dengan adanya partikel silikon yang halus dan tersebar merata. Bentuk dari Si primer maupun Si eutektik pada paduan Al-Si hipereutektik memiliki peranan penting yang menentukan sifat ketahanan aus material<sup>[19]</sup>. Dengan penambahan Sr, Si eutektik akan berubah dari bentuk jarum (*acicular*) menjadi bentuk yang lebih halus (*fibrous*) dan merata.

Partikel Si primer yang halus dan tersebar merata pada paduan Al-Si yang termodifikasi memiliki kemampuan menahan gesekan lebih besar dibandingkan paduan Al-Si yang partikel Si primernya tidak termodifikasi. Daerah bebas Si primer pada paduan Al-Si yang tidak termodifikasi lebih besar dibandingkan yang termodifikasi. Pada umumnya, daerah bebas Si yang lebih besar akan menyebabkan penetrasi yang lebih dalam karena kemampuan menahan gesekan lebih rendah. Hal ini akan menambah aksi perusakan dari partikel abrasif.

#### 2.5.2.7 Penambahan Sr berlebih pada paduan Al-Si hipereutektik

Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Roger Kevin et al dalam jurnalnya yang berjudul “*Casting of Modified Al Base Si-Cu-Ni-Mg-Mn-Zr*”, dimana untuk menghasilkan struktur dominan berupa matriks eutektik Al-Si dengan Si primer yang tersebar merata pada paduan hipereutektik dapat dilakukan dengan penambahan modifier Sr yang berlebih yaitu dalam *range* 0.1% - 0.35%<sup>[20]</sup>. Jika kadar Sr kurang dari 0.10% maka modifikasi Si eutektik tidak diperoleh. Sedangkan jika lebih dari 0.35% Sr maka tidak ada efek yang menguntungkan dalam pengontrolan pembentukan silikon primer. Kadar Sr lebih dari 0.35% akan cenderung menghasilkan volume fraksi partikel intermetalik yang berlebih sehingga justru dapat menurunkan sifat-sifat mekanis paduan.

Kondisi hipereutektik dalam penemuan tersebut agar diperoleh struktur eutektik yang termodifikasi dan bebas silikon primer atau silikon primer yang tersebar merata dibatasi dengan kadar Si sebesar 13-15%. Kadar Si dibawah 12% tentu saja bukan persyaratan kondisi hipereutektik. Sedangkan jika kadar Si lebih dari 16% maka akan sulit untuk mendapatkan struktur mikro yang bebas dari

partikel silikon primer atau silikon primer tersebar merata dan partikel silikon primer yang terbentuk cenderung berukuran besar.

Penambahan Sr lebih dari 0.10% pada paduan aluminium silikon hipereutektik akan menghasilkan struktur mikro dimana silikon primer tersebar secara merata dan bebas dari segregasi serta partikel intermetalik Sr yang merata dan tidak berbentuk *platelet* <sup>[21]</sup>. Secara dominan mikrostruktur akan terdiri dari matriks eutektik. Penambahan Sr yang berlebih ini dengan catatan harus disertai dengan kandungan Ti yang lebih dari 0.005% untuk mendapatkan hasil modifikasi eutektik seperti yang diharapkan.

Dari hasil penambahan *modifier* Sr yang berlebih tersebut maka kekuatan mekanis paduan aluminium silikon akan meningkat dan diperoleh paduan yang memiliki ketahanan aus tinggi, sifat mampu permesinan, dan mampu cor yang baik, serta tahan terhadap temperatur tinggi <sup>[20]</sup>.

## **2.6 PERLAKUAN PANAS PADUAN ALUMINIUM**

Paduan aluminium dapat ditingkatkan sifat mekanisnya setelah dilakukan pengecoran dengan cara perlakuan panas (*heat treatment*). Adapun tujuan utama proses perlakuan panas pada paduan aluminium adalah <sup>[22]</sup>:

- a. Melunakkan paduan untuk meningkatkan proses pengerjaan.
- b. Meningkatkan menghasilkan sifat mekanis yang diinginkan.
- c. Menstabilkan sifat fisik ataupun mekanis atau ketahanan korosi, dan menghindari perubahan yang akan muncul karena waktu pada temperatur ruang atau temperatur yang dinaikkan.
- d. Memastikan kestabilan dimensi selama pemakaian.
- e. Menghilangkan tegangan sisa yang disebabkan pendinginan tak merata.

### **2.6.1 Proses Penuaan Paduan Aluminium**

Peningkatan sifat mekanis suatu logam dapat dicapai dengan penambahan partikel keras yang tersebar merata. Tujuan tidak selalu dapat dicapai dengan pencampuran (*alloying*) semata. Dengan perlakuan panas partikel keras yang tersebar secara merata dapat diperoleh. Dengan demikian sifat mekanis, seperti

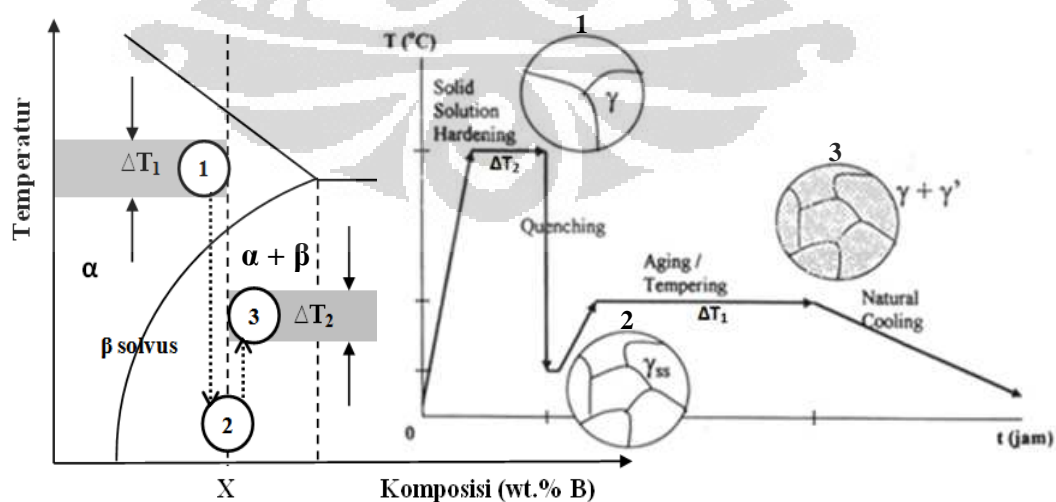
kekerasan dan kekuatan tarik akan meningkat. Metode pengerasan seperti ini disebut dengan pengerasan penuaan (*precipitation hardening*).

Beberapa jenis paduan yang dapat dilakukan proses pengerasan presipitasi adalah sebagai berikut<sup>[23]</sup>:

- Al-Cu : pembentukan endapan  $\text{CuAl}_2$
- Al-Cu-Mg : Mg berfungsi untuk memperbanyak endapan
- Al-Mg-Si : pembentukan endapan  $\text{Mg}_2\text{Si}$
- Al-Zn-Mg : pembentukan endapan  $\text{MgZn}_2$

Prinsip utama proses pengerasan penuaan adalah mekanisme penguatan melalui pembentukan endapan (*precipitate*) yang tersebar merata dalam paduan sehingga dapat menghalangi pergerakan dislokasi. Agar paduan dapat dikeraskan melalui metode ini, paduan harus mempunyai batas kelarutan dari aluminium dan kelarutan tersebut menurun seiring dengan penurunan temperatur<sup>[24]</sup>. Proses *precipitation hardening* melalui beberapa tahap, seperti pada gambar 2.15, yaitu:

- *Solution treatment*, yaitu pemanasan paduan hingga mencapai daerah fasa tunggal sehingga tercipta larutan padat yang homogen.
- *Quench*, yaitu pendinginan cepat untuk menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution - SSSS*).
- Penuaan (*aging*), yaitu penuaan pada temperatur dalam jangka waktu tertentu.



Gambar 2.15 Ilustrasi prinsip *precipitation hardening* Al-Cu<sup>[25]</sup>

### 2.6.1.1 *Solution treatment*

*Solution treatment* adalah proses pemanasan paduan aluminium pada temperatur tertentu ( $\Delta T_1$ ), misal  $490^\circ\text{C}$ , untuk memperoleh larutan padat yang homogen (fasa tunggal  $\alpha$ , gambar 2.15). Pemanasan yang dilakukan sampai mencapai temperatur daerah fasa tunggal  $\alpha$  pada diagram fasa dan ditahan dalam jangka waktu tertentu untuk meyakinkan semua paduan (fasa  $\beta$ ) larut sempurna. Proses ini akan memisahkan endapan dan menghancurkan kumpulan atom (*cluster*) yang terdapat dalam paduan. Semua unsur penguat dalam paduan aluminium ini diharapkan larut secara sempurna. Proses ini juga akan membuat banyak *vacancy* yang nantinya akan berguna sebagai empat terbentuknya endapan pada proses penuaan<sup>[26,27]</sup>.

### 2.6.1.2 *Quenching*

*Quenching* adalah proses pendinginan cepat setelah *solution treatment* ke temperatur tertentu yang pada umumnya adalah temperatur ruang atau pada suhu air panas. Proses ini dilakukan agar kondisi larut sempurna tetap dipertahankan.

Kecepatan pendinginan harus tinggi agar atom terlarut terperangkap dalam larutan padat dan jumlah *vacancy* tidak berkurang. Jika kecepatan pendinginannya rendah maka *vacancies* akan berpindah ke tempat yang tidak merata dan tidak teratur serta membentuk endapan yang tidak homogen dan tidak teratur. Endapan yang tadinya diharapkan tersebar merata justru akan tumbuh di batas butir yang energi rendah sehingga mekanisme penguatan tidak dapat dicapai secara efektif.

Struktur larutan padat lewat jenuh hasil proses *quenching* bersifat metastabil karena atom-atom mempunyai kecenderungan untuk berdifusi ke tempat nukleasi yang potensial.

### 2.6.1.3 Penuaan (*Aging*)

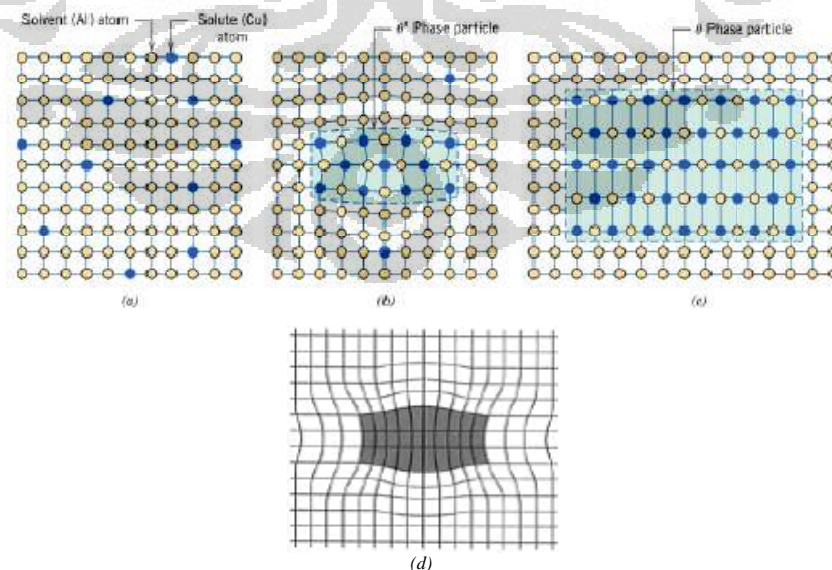
Penuaan adalah proses pemanasan paduan (larutan pada lewat jenuh) pada temperatur yang relatif rendah  $\Delta T_2$  (gambar 2.15) untuk memungkinkan terjadinya difusi atom-atom terlarut dan membentuk endapan. Setiap proses penuaan diakhiri dengan pendinginan pada temperatur ruang. Proses penuaan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). Penuaan alami adalah penuaan yang dilakukan pada temperatur

ruang, sedangkan penuaan buatan adalah penuaan pada temperatur di atas temperatur ruang.

Waktu yang diperlukan untuk difusi (tercapainya kekerasan puncak) tergantung dari kecepatan difusi unsur paduan yang ditambahkan. Jika suatu unsur paduan memiliki kecepatan difusi yang tinggi maka waktu yang diperlukan untuk penuaan akan lebih singkat, demikian juga sebaliknya jika kecepatan difusinya rendah maka waktu yang diperlukan untuk penuaan akan lebih lama.

Larutan padat lewat jenuh yang mengalami penuaan akan mengalami proses difusi atom-atom terlarut. Atom-atom yang berdifusi akan membentuk endapan dalam hal ini *vacancy* mempunyai peran yang penting. Gambar 2.16 adalah contoh mekanisme pengerasan penuaan adalah pada paduan Al-4Cu, yaitu larutan padat lewat jenuh akan membentuk *GP zone*,  $\theta'$ -CuAl<sub>2</sub>, dan  $\theta$ -CuAl<sub>2</sub><sup>[27]</sup>.

*GP Zones (Guinier-Preston Zones)* adalah endapan yang terbentuk di awal *aging* yaitu berupa kumpulan atom-atom Cu yang berbentuk pipih dan tersegregasi pada bidang {110} kisi aluminium (gambar 2.16.d). *GP Zones* memiliki struktur kisi yang sama dengan aluminium, tetapi karena diameter atom Cu lebih kecil dari Al maka terdapat regangan elastis pada struktur kisi. Struktur yang hampir sama tersebut disebut sebagai struktur endapan koheren.

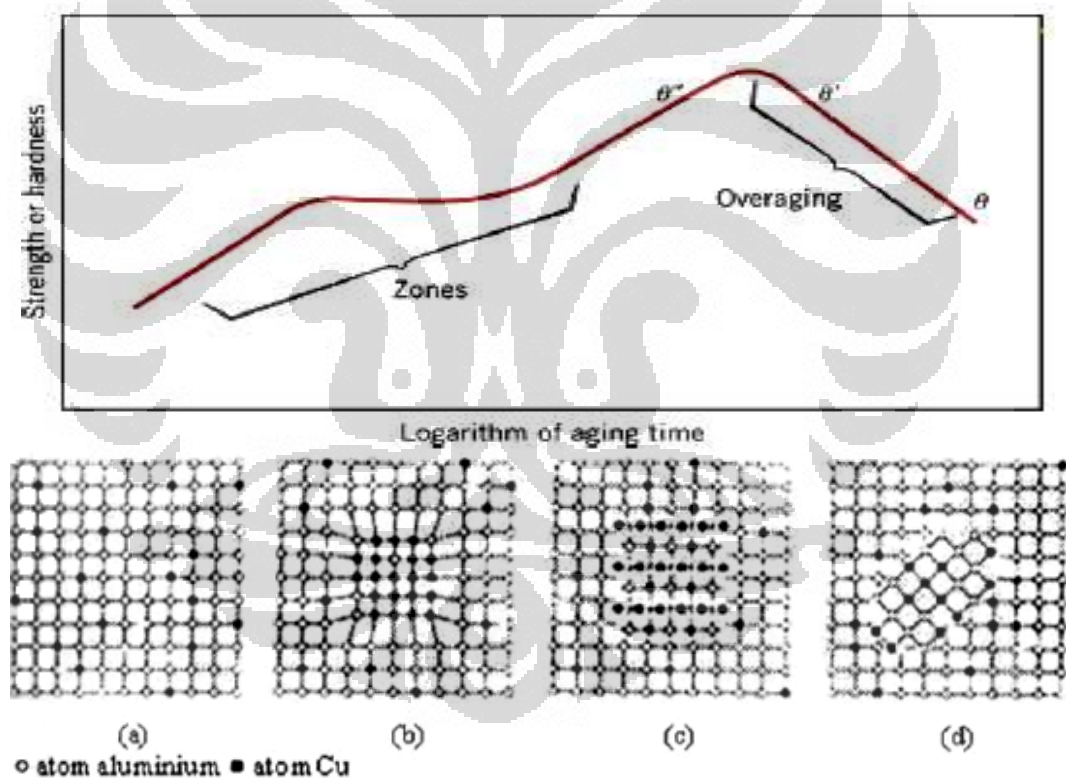


**Gambar 2.16** (a) A supersaturated  $\alpha$  solid solution, (Cu: substitutional atoms) (b) A transition  $\theta'$  precipitate phase, (c) the equilibrium  $\theta$  phase within the  $\alpha$ -matrix phase, (d) GP Zone (coherence interface)<sup>[24]</sup>



Pada saat penuaan dilanjutkan, terjadi penebalan *GP Zones* menjadi  $\theta''$ - $\text{CuAl}_2$ , atau bisa disebut sebagai *GP Zones II*. *GP Zones II* pada Al-Cu memiliki struktur tetragonal dengan  $a=b= 4.04 \text{ \AA}$  dan  $c= 7.68 \text{ \AA}$  sehingga akan mendistorsi kisi aluminium pada arah  $c$ <sup>[27]</sup>. Ketika penuaan dilanjutkan, maka difusi juga terus berlanjut, maka  $\theta''$  terus bertumbuh menjadi  $\theta'$ - $\text{CuAl}_2$  yang inkoheren.

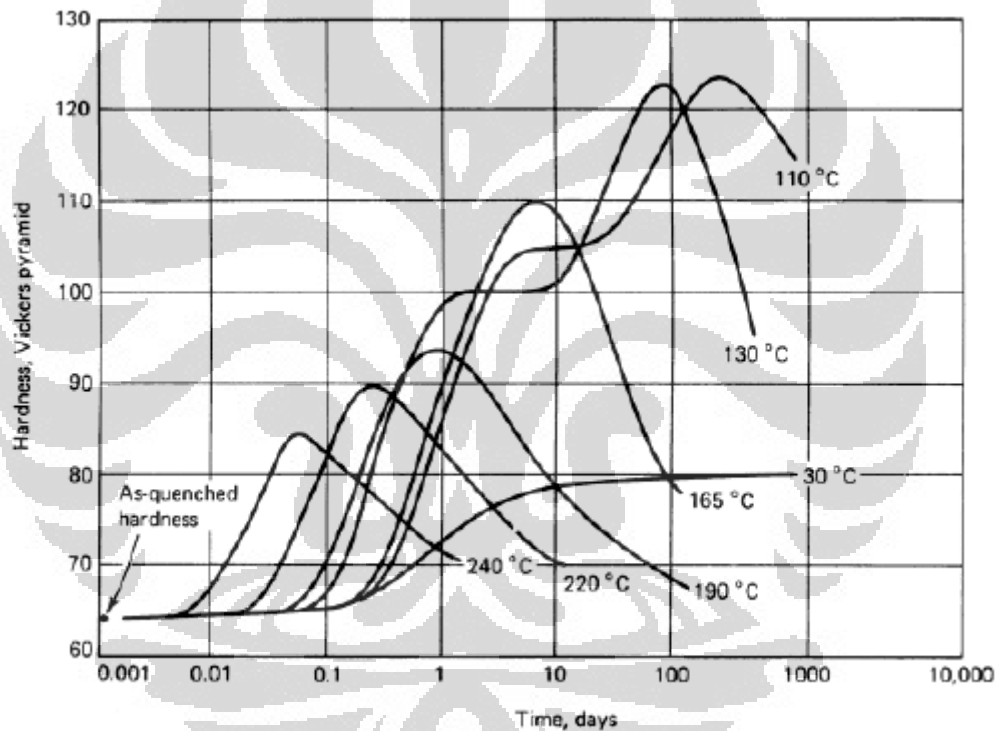
Endapan yang koheren mampu menghalangi pergerakan dislokasi akibat adanya regangan elastis pada kisi kristal sementara endapan yang inkoheren justru akan mengurangi efek penguatan karena regangan elastis yang terbentuk tidak cukup besar untuk menghambat pergerakan dislokasi. Alur perubahan endapan selama proses penuaan yang ditunjukkan pada gambar 2.17.



**Gambar 2.17** Perubahan sifat koherensi endapan pada proses penuaan untuk paduan Al-Cu; (a) larutan padat dengan distribusi acak dengan atom terlarut, (b) endapan koheren, (c) endapan semi koheren, dan (d) endapan inkoheren<sup>[24]</sup>

Untuk memperoleh kekerasan maksimum (*peak hardness*), material harus mengalami penuaan dalam jangka waktu tertentu. Kekerasan puncak dicapai dengan ukuran dan distribusi endapan yang spesifik<sup>[26]</sup>. Dengan meningkatnya

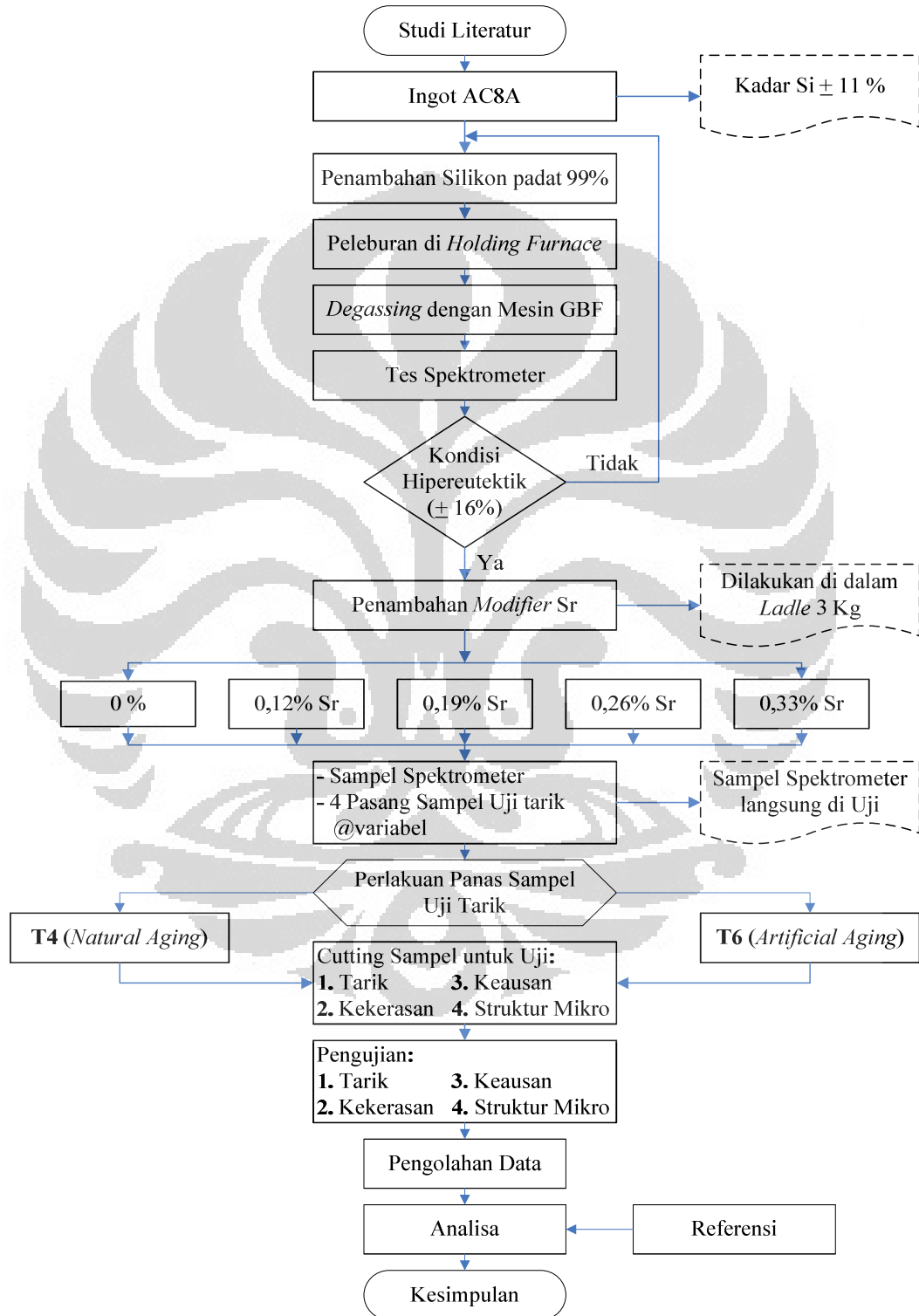
temperatur penuaan, kecepatan difusi akan meningkat. Dengan demikian waktu yang diperlukan untuk memperoleh kekerasan puncak akan lebih singkat. Sebaliknya jika temperatur penuaan lebih rendah maka waktu untuk mencapai kekerasan puncak akan lebih lama. Namun, dengan semakin tingginya temperatur penuaan kekerasan puncak itu sendiri semakin rendah, sebaliknya jika temperatur penuaan lebih rendah maka kekerasan puncak akan semakin tinggi. Gambar 2.18 menunjukkan grafik kekerasan bernading dengan waktu penuaan pada Al-Cu pada beberapa temperatur *aging*.



**Gambar 2.18** Fungsi kekerasan terhadap waktu *aging* Al-4Cu. Paduan mengalami *solution treatment* selama minimal 48 jam pada temperatur 520°C kemudian didinginkan secara cepat pada 20°C<sup>[23]</sup>

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Diagram alir di atas (gambar 3.1) menjelaskan tentang alur penelitian yang telah penulis lakukan di PT. X dan Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Penelitian diawali dengan mencari literatur pendukung agar tidak terjadi kekeliruan dan kesamaan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di Departemen Metalurgi dan Material. Penelitian dimulai dengan membuat alur proses kerja dan menyiapkan seluruh bahan serta peralatan yang dibutuhkan.

Setelah alat dan bahan siap, penelitian dimulai dengan melebur ingot AC8A sebagai ingot asal (kadar Si 11 – 13%) dengan Si padat 99% pada *holding furnace* dengan *setting* temperatur 730°C untuk membuat paduan aluminium silikon (Al-Si) hipereutektik (16%Si). Setelah semua material diperkirakan sudah melebur, kemudian dilakukan proses GBF (*Gas Bubble Flotation*) untuk mengangkat hidrogen terlarut, kotoran, dan memastikan material AC8A dan Si padat 99% tercampur sempurna. Selanjutnya dilakukan uji komposisi kimia untuk mengetahui komposisi kimia leburan apakah sudah sesuai dengan rencana atau tidak. Jika tidak ditambahkan Si padat 99% dan *degassing* kembali, tetapi jika sudah maka dilanjutkan ke tahapan selanjutnya.

Setelah kondisi hipereutektik, proses penambahan *modifier* stronsium (Sr) dilakukan dalam *ladle* 3 kg dengan cara pengambilan Al cair dengan *ladle* dan menambahkan Sr ke dalam *ladle*. Hal ini dilakukan untuk setiap variabel penambahan Sr, yaitu 0%, 0.12%, 0.19%, 0.26%, dan 0.33%. dari proses pengecoran dihasilkan sampel uji komposisi kimia dan empat pasang sampel uji tarik pada setiap variabel penambahan Sr.

Proses selanjutnya adalah perlakuan panas (*heat treatment*). Seluruh sampel uji tarik dimasukkan ke dalam peralatan *heat treatment* untuk dilakukan proses *solution treatment* dengan temperatur 490°C selama 4 jam. Setelah 4 jam sampel dikeluarkan dan di *quench* pada suhu 70°C selama 10 menit serta masing-masing variabel diambil dua pasang, proses ini disebut T4. Sampel sisanya dimasukkan lagi untuk dilakukan *artificial aging* pada suhu 210°C selama 4 jam, proses ini disebut T6.

Setelah proses perlakuan panas, sampel di potong menjadi sampel uji tarik, keras, aus, dan uji struktur mikro. Pengujian komposisi, tarik, dan keras dilakukan di PT. X, sedangkan uji aus dan struktur mikro dilakukan di Departemen

Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Data yang didapat, kemudian diolah menjadi bentuk tabel dan grafik serta dilakukan analisa dengan bantuan referensi, dan disimpulkan.

### **3.2 ALAT DAN BAHAN**

#### **3.2.1 Alat**

- a.  *Holding furnace* kapasitas 350 kg
- b.  *Laddle* 3 kg
- c. Mesin  *Gas Bubble Flootation (GBF)*
- d. Mesin  *heat treatment*
- e. Basket (tempat penampung sampel)  *heat treatment*
- f. Sarung Tangan dan masker
- g. Palu
- h. Timbangan digital
- i. Spidol
- j. Penggaris
- k. Mesin gerinda/*cutting*
- l. Mesin bubut
- m. Mesin uji tarik Shimadzu AG-1 100 KN
- n. Mesin uji spektrometer Shimadzu OES-5500 II
- o. Mikroskop optik manual
- p.  *Hardness Rockwell Tester*
- q. Mesin  *grinding and polishing*
- r.  *Machine Press Mounting*
- s. Ogoshi Wear Machine
- t. Termokopel

#### **3.2.2 Bahan**

- a. Paduan aluminium AC8A
- b. Al-10Sr  *master alloy*
- c. Silikon padat 99%
- d. Resin dan Hardener

- e. Etsa HF 0.5%
- f. Alumina
- g. Kertas amplas
- h. Kain beludru

### 3.3 PROSEDUR PENELITIAN

#### 3.3.1 Persiapan Penelitian

##### 3.3.1.1. Perhitungan *materials balance*

Sebelum melakukan proses peleburan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap jumlah Si dan Sr yang akan ditambahkan.

##### 1. Perhitungan jumlah silikon padat 99% yang ditambahkan

Ingot paduan Al-Si hipereutektik yang dilebur pada penelitian ini berjumlah  $\pm 100$  kg. Berdasarkan hasil uji komposisi kimia, kadar aktual Si pada ingot master AC8A adalah 11 - 12% (dianggap 11%). Direncanakan kadar Si dalam paduan Al-Si hipereutektik adalah 16%. Untuk mendapatkan komposisi tersebut dibutuhkan penambahan Si padat 99%. Berikut perhitungan penambahan Si padat 99% untuk mendapatkan kondisi hipereutektik.

- Kadar Si pada master ingot AC8A = 11%
- Target kandungan Si pada paduan = 16%
- Total leburan paduan Al-Si hipereutektik adalah 100.000 gr, yang terdiri dari:

$$\text{Master ingot AC8A (X) + Si 99\% (Y) = 100.000}$$

$$X + Y = 100.000 \rightarrow X = 100.000 - Y$$

- Jadi, penambahan Si adalah

$$\text{Kadar Si ingot AC8A (X) + Si 99\% (Y) = Kadar Si direncanakan (100.000)}$$

$$11\% X + 99\% Y = 16\% * 100.000$$

$$11 (100.000 - Y) + 99 Y = 1.600.000$$

$$1.100.000 - 11 Y + 99 Y = 1.600.000$$

$$88 Y = 500.000 \rightarrow Y = 5.682 \text{ gr} / 5,682 \text{ kg} + 0,2 \text{ kg (antisipasi)} = 5,882 \text{ kg}$$

##### 2. Perhitungan berat *modifier* stronsium

Pada penelitian ini, Sr yang digunakan berupa Al-10Sr *master alloy* yang berbentuk batangan. Digunakan lima variabel penambahan stronsium yaitu 0%, 0,12%, 0,19%, 0,26% dan 0,33%. Sr yang ditambahkan dalam *ladle* dengan

kapasitas 3 kg. Al-10Sr *master alloy* mengandung kadar Sr sebesar 10%. Kemudian dilakukan perhitungan berat stronsium yang harus ditambahkan untuk setiap variabel. Berikut tabel perhitungan berat Sr yang ditambahkan:

**Tabel 3.1** Perhitungan *material balance* penambahan stronsium

No	Kadar Sr	Perhitungan	Berat Sr
1	0%	-	-
2	0.12%	$(0,12/100) \times 3000 \times (100/10)$	36 gram
3	0.19%	$(0,19/100) \times 3000 \times (100/10)$	57 gram
4	0.26%	$(0,26/100) \times 3000 \times (100/10)$	78 gram
5	0.33%	$(0,33/100) \times 3000 \times (100/10)$	99 gram

### 3.3.1.2 Persiapan peralatan dan bahan

Sebelum proses peleburan dan pengecoran, dipersiapkan terlebih dahulu alat-alat dan bahan-bahan yang akan digunakan. Pada saat penelitian, ingot master AC8A telah dalam keadaan melebur sehingga dilakukan pengukuran kedalaman leburan yang kira-kira beratnya ketika padat  $\pm 95$  kg. Kristal Si padat 99% yang akan ditambahkan ditimbang sebanyak 5,882 kg.

Karena berbentuk batangan (*rod*), batangan Al-10Sr yang akan digunakan dipotong kecil-kecil (gambar 3.2). Hasil potongan kemudian ditimbang sesuai dengan perhitungan pada tabel 3.1. Setiap variabel dilakukan dua kali penimbangan karena akan dilakukan dua kali peleburan Sr di dalam *ladle*.



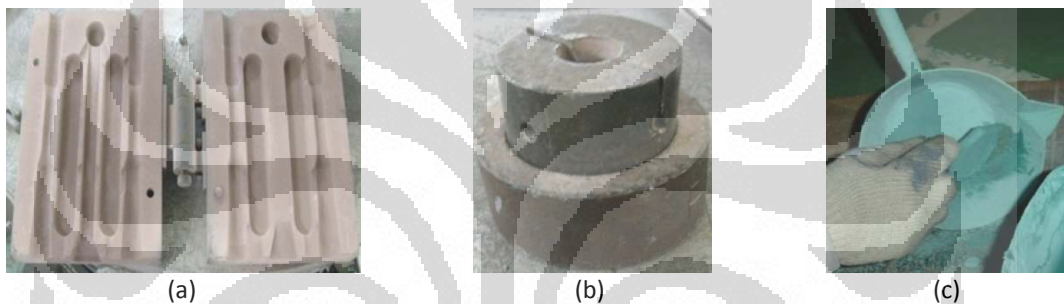
(a)



(b)

**Gambar 3.2** (a) *Master alloy* Al-10Sr, (b) Proses pemotongan

Sebelum alat-alat digunakan (gambar 3.3), dilakukan proses *preheating* terlebih dahulu baik *ladle* maupun cetakan logam. Proses *preheating* ini bertujuan untuk menghindari adanya *thermal shock* ketika logam cair dituang ke dalam cetakan dan menguapkan uap air agar tidak terjadi letupan. Sebelum *preheating*, cetakan logam dilakukan proses *coating*. Proses ini bertujuan agar tidak terjadi penempelan logam aluminium cair yang dituang dengan cetakan logam. *Coating* dilakukan dengan proses *spray coating* dan setelah itu di masukkan ke dalam oven (*dies oven*). *Coating* yang digunakan pada *ladle* adalah isomol + tiner, sedangkan pada cetakan adalah HLP + air.



**Gambar 3.3** (a) Cetakan uji tarik, (b) Cetakan uji komposisi kimia, (c) *Ladle*

### 3.3.2 Proses Peleburan

Proses peleburan dilakukan di PT.X plant Cibitung menggunakan *holding furnace*. Material umpan berupa paduan AC8A dengan komposisi sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Komposisi material AC8A

Unsur Paduan	% Kandungan
Si	11 – 13
Fe	0,7 max
Cu	0,8 – 1,5
Mn	0,35 max
Mg	0,8 – 1,5
Ni	0,7 – 1,3
Zn	0,35 max
Ti	0,25 max

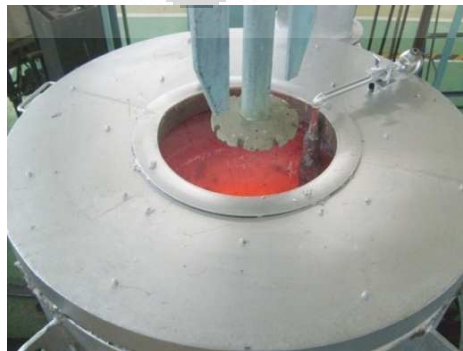


Temperatur *holding furnace* disetting pada alat sebesar  $710^{\circ}\text{C}$ , pada aktual  $730^{\circ}\text{C}$ . Pada saat peleburan telah terdapat leburan paduan AC8A yang dilebur sebanyak  $\pm 200$  kg sehingga dikurangi hingga setengahnya lebih  $\pm 95$  kg dan Si padat 99% sebesar 5.882 kg (gambar 3.4). Setelah pengurangan leburan paduan AC8A, baru ditambahkan kristal Si padat 99%.



**Gambar 3.4** (a) *Holding furnace* dan Al cair, (b) kristal silikon

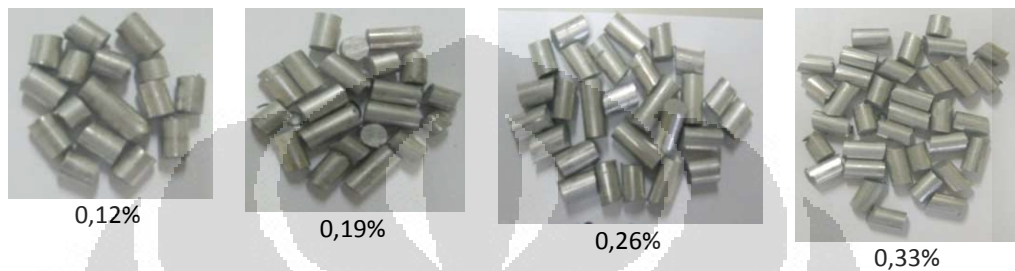
Gambar 3.5 adalah mesin GBF (*Gas Bubbling Floatation*) yang dilakukan untuk melakukan proses *degassing*. Proses *degassing* dilakukan selama 10 menit yang bertujuan mengurangi gas-gas dalam leburan terutama gas hidrogen dan juga untuk mengangkat pengotor agar leburan lebih bersih. Adanya gas hidrogen dan pengotor dalam aluminium cair akan menyebabkan cacat pada produk cor. Gas yang digunakan adalah gas argon yang bersifat *inert*. Setelah leburan dipastikan telah tercampur dengan baik, kemudian dilakukan uji komposisi kimia untuk memastikan bahwa leburan sudah berada dalam kondisi hipereutektik.



**Gambar 3.5** Proses *degassing* dengan mesin GBF

### 3.3.3 Penambahan *Modifier* Stronsium

Pada penelitian ini, unsur Sr sebagai *modifier* ditambahkan dalam bentuk *master alloy* Al-10Sr berbentuk batangan yang telah dipotong-potong, seperti pada gambar 3.6. Untuk penelitian ini dipakai lima variabel penambahan Sr, yaitu sebesar 0%, 0,12%, 0,19%, 0,26%, dan 0,33%.



**Gambar 3.6** *Modifier* stronsium yang ditambahkan

Penambahan unsur Sr dilakukan pada *ladle* dengan kapasitas 3 kg, bukan pada *holding furnace*. Sr ditambahkan pada leburan, kemudian diaduk secara merata dalam kondisi *ladle* masih berada di atas *holding furnace*. Hal ini dilakukan agar temperatur logam cair tidak turun secara drastis ketika proses penambahan Sr dan pengadukan. Selain itu pengadukan dalam kondisi *ladle* masih di atas *holding furnace* ini dilakukan agar Sr yang ditambahkan dapat larut seluruhnya dan merata.

Jumlah Sr aktual yang ditambahkan dalam bentuk master alloy Al-10Sr ini terdapat sedikit selisih perbedaan dengan perhitungan sebelumnya. Hal ini dikarenakan agak susahnya menyiapkan berat master alloy Al-10Sr yang diinginkan secara tepat karena bentuknya yang batangan. Pengecoran dilakukan dua kali untuk mendapatkan empat pasang sampel uji tarik sehingga membutuhkan dua kali penambahan Sr pada *ladle*. Berikut tabel berat aktual Sr yang ditambahkan:

**Tabel 3.3** Berat stronsium target dan stronsium aktual

Variabel Sr	Berat Sr Sesuai Perhitungan	Berat Sr yang Ditambahkan
0%	0 gram	0 gram
0.12%	36 gram	36.36 gram, 36.45 gram
0.19%	57 gram	57.35 gram, 57.54 gram
0.26%	78 gram	78.38 gram, 78.18 gram
0.33%	99 gram	98.19 gram, 99.23 gram

### 3.3.4 Proses Penuangan

Setelah penambahan Sr, proses selanjutnya adalah penuangan leburan ke dalam cetakan (gambar 3.7). Pada penelitian dipakai cetakan logam (*dies*) berupa cetakan uji tarik dan cetakan uji komposisi yang sebelumnya telah di-*coating* dan *preheating*. Leburan harus dituang ke dalam cetakan sesegera mungkin agar tidak terlalu lama kontak dengan udara sehingga temperturnya tidak turun drastis. Temperatur maupun waktu penuangan di sini di anggap sebagai variabel yang tetap. Lama penuangan antara 6-10 detik dengan waktu pembekuan kurang lebih 1 menit. Leburan dalam *ladle* 3 kg untuk setiap variabel Sr dapat dituang ke dalam 2 cetakan uji tarik dan satu cetakan uji komposisi kimia.



**Gambar 3.7** Proses penuangan ke dalam cetakan uji tarik

Setelah membeku, benda cor (sampel uji tarik dan uji komposisi kimia) kemudian dikeluarkan dari cetakan (gambar 3.8).



**Gambar 3.8** Hasil coran (a) Sampel uji tarik, (b) Sampel uji komposisi

Baik proses penambahan Sr maupun penuangan dilakukan dengan kondisi operasi yang hampir sama untuk setiap variabel. Kondisi operasi ini meliputi:

- Waktu pengadukan, yaitu waktu yang dicatat ketika Sr dimasukkan dalam leburan kemudian diaduk selama beberapa saat.
- Waktu tuang, yaitu waktu yang dicatat ketika proses penuangan dilakukan hingga leburan memenuhi seluruh cetakan.
- Waktu pembekuan, yaitu waktu yang dicatat setelah proses penuangan selesai hingga proses pengambilan sampel dari cetakan.

Parameter-parameter proses tersebut dapat mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk pada paduan Al-Si hipereutektik hasil pengecoran. Oleh karena itu, parameter-parameter ini dibuat tetap, agar pengaruhnya pada sifat mekanis hampir sama. Diharapkan parameter-parameter ini dapat saling menghilangkan ketika dibandingkan antara setiap variabel Sr yang ditambahkan.

### 3.3.5 Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas sampel uji tarik mengikuti alur dan standar yang telah dilakukan PT. X untuk melakukan perlakuan panas pada piston. Tahapan pertama, sampel hasil pengecoran dikumpulkan dan ditaruh dalam basket besar. Kemudian basket dimasukkan ke dalam mesin *heat treatment* (gambar 3.9) dengan bantuan krain untuk mengangkatnya ke atas.

Sesuai dengan *Operating Standard* (OS) pada PT. X pertama-tama dilakukan proses *Solution Treatment* didalam oven dengan temperatur proses 490°C selama 4 jam. Setelah 4 jam dilakukan proses *quenching* air (pendinginan cepat) dengan temperatur 70°C selama 10 menit. Sampai proses *quenching* selesai, setengah dari sampel (2 pasang masing-masing variabel) diambil terlebih dahulu dan dipisahkan. Proses ini disebut *natural ageing* (T4).

Sedangkan menurut *Operating Standard* (OS) PT. X, proses perlakuan panas dilanjutkan dengan proses *artificial ageing* (T6) dengan memasukkan kembali ke mesin *heat treatment* dengan temperatur proses 210°C selama 4 jam.



**Gambar 3.9** Peralatan oven *heat treatment*

### **3.3.6 Preparasi Sampel**

#### **3.3.6.1 Preparasi sampel uji komposisi kimia**

Sampel uji komposisi kimia di ambil dari hasil coran uji komposisi kimia. Preparasi sampel hanya dipotong sedikit pada bagian atasnya kemudian dibubut bagian dasarnya (gambar 3.11). Proses pembubutan ini dilakukan agar diperoleh permukaan uji yang rata dan bersih dari kotoran atau lemak yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Setelah dibubut, sampel uji komposisi ini tidak boleh dipegang pada bagian bawahnya agar tidak terkena kontaminasi dari tangan.



**Gambar 3.10** Sampel uji komposisi kimia

### 3.3.6.2 Preparasi sampel uji tarik

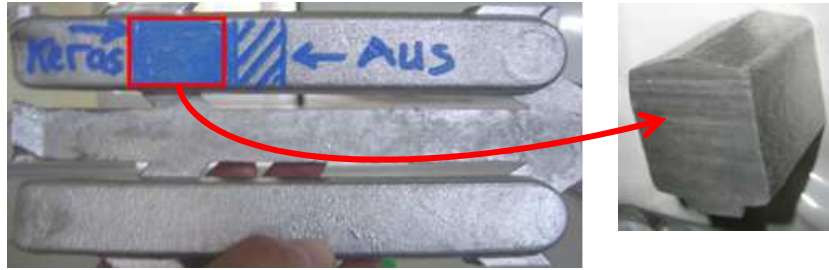
Hasil pengecoran sampel uji tarik, kemudian dipotong dari bagian *gating system*-nya. Sampel uji tarik dari cetakan ini telah sesuai ukurannya dengan standar JIS Z 2201 baik diameter (14 mm), panjang porsi paralel (60 mm), maupun jari-jari kelengkungannya (15 mm). Oleh karena itu, hasil pemotongan sampel uji tarik dengan *gating system*-nya tidak dilakukan proses pembubutan, hanya dipotong bagian bawah dan atasnya saja (gambar 3.10).



**Gambar 3.11** Sampel uji tarik

### 3.3.6.3 Preparasi sampel uji kekerasan

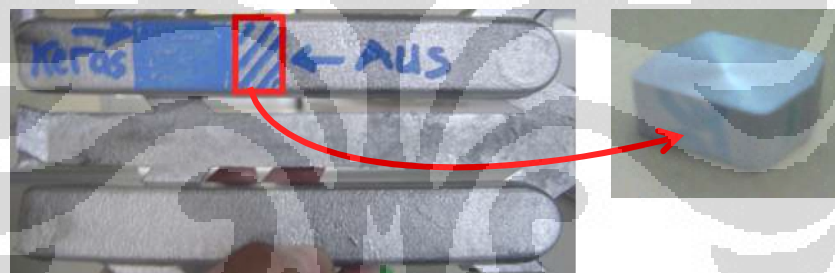
Sampel uji kekerasan diambil dari cetakan uji tarik dari bagian *gating system* sebelah atas (gambar 3.12). Pada proses pembekuan, bagian ini adalah bagian yang terakhir membeku sehingga kurang keras dibanding bagian lain karena terdapat banyak mikro porositas. Maksudnya, apabila kekerasan bagian ini masuk dalam *range* kekerasan, maka bagian lain yang mengalami pembekuan pertama kali mempunyai kekerasan lebih tinggi. Sampel yang telah dipotong kemudian diratakan bagian permukaannya dengan mesin bubut.



**Gambar 3.12** Sampel uji kekerasan

#### 3.3.6.4 Preparasi sampel uji aus

Sama seperti sampel uji kekerasan, sampel uji aus juga diambil dari bagian *gating system* hasil coran dari cetakan uji tarik (gambar 3.13) dengan alasan yang sama dengan alasan pada preparasi sampel uji kekerasan. Sampel dipotong dengan ketebalan 1.5 cm (sesuai *setting* mesin uji aus) dan diratakan permukaannya.



**Gambar 3.13** Sampel uji aus

#### 3.3.6.5 Preparasi sampel pengamatan struktur mikro

Untuk preparasi sampel pengamatan struktur mikro dilakukan dengan berbagai tahap preparasi antara lain:

##### a. Pemotongang (*cutting*)

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel didasarkan atas tujuan pengamatan yang akan dilakukan. Pengambilan sampel dari suatu bahan harus dilakukan secara teliti sehingga sampel yang diambil tersebut mewakili kondisi rata-rata bahan atau kondisi ditempat-tempat yang kritis. Sampel yang akan dipotong adalah bagian atau daerah sampel yang dianggap representatif dan mewakili semua sifat sampel. Pada penelitian kali ini, pemotongan sampel dilakukan

dengan metode pemotongan menggunakan mesin pemotong *band saw*. Pemilihan metode pemotongan atau alat potong yang tepat sangat penting dalam proses *cutting*. Hal ini dimaksudkan agar dapat mengurangi tingkat deformasi di permukaan sampel. Sampel pengamatan struktur mikro di sini di ambil dari bagian bawah benda cor atau uji tarik bagian bawah karena mewakili struktur mikro dari benda, seperti yang ditunjukkan gambar 3.14.



**Gambar 3.14** Pengambilan sampel untuk pengamatan foto mikro

b. *Mounting*

Proses *mounting* bertujuan untuk menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel. Jenis *mounting* yang digunakan untuk pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik adalah *compression mounting* dengan menggunakan resin sebagai media. Dalam *compression mounting* diberikan tekanan dan panas untuk memperkeras resin. Pemilihan bahan *mounting* dan teknik *mounting* itu sendiri harus dipertimbangkan agar tidak merusak benda uji. Jika jumlah panas akan mengubah struktur mikro benda kerja maka *mounting* yang digunakan harus memiliki sifat *eksoterm* terendah. Faktor lain yang harus diperhatikan adalah ketahanan bahan *mounting* terhadap larutan dan zat pengetsa yang akan digunakan.

Sampel dimasukkan ke dalam cetakan mesin *compression mounting*, kemudian ditambahkan resin dan dipanaskan serta diberi tekanan selama  $\pm 8$  menit. Kemudian didinginkan selama  $\pm 6$  menit dengan media air. Hasil *mounting* yang telah mengeras di keluarkan dari mesin *compression mounting* dan hasilnya seperti pada gambar 3.15.





**Gambar 3.15** Sampel hasil *mounting*

c. Pengamplasan (*grinding*)

Gambar 3.16 adalah proses pengamplasan yang merupakan tahapan penting dalam persiapan sampel metalografi. Proses pengamplasan ini bertujuan untuk mendapatkan kehalusan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan kasar pada permukaan sampel. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas nomor grid #120, #400, #600, #800, #1200, dan #1500 yang dilakukan secara bertahap dimulai dari amplas dengan nomor grid paling kecil (kasar) ke nomor grid yang besar (halus).

Pada pengamplasan diperlukan pengaliran air untuk menghindarkan efek pemanasan sampel yang dapat merubah struktur mikronya dan mengalirkan geram logam yang terkikis agar memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Hal lain yang harus diperhatikan ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah  $45^{\circ}$  atau  $90^{\circ}$  terhadap arah sebelumnya, kemudian tekanan yang diberikan pada sampel harus dikontrol. Tekanan yang kecil tidak menimbulkan efek pengikisan, sedangkan penekanan yang terlalu besar akan menimbulkan goresan yang terlalu besar.



**Gambar 3.16** Proses pengamplasan

d. Pemolesan (*polishing*)

Setelah sampel diampelas sampai halus (hingga grid 1500#) selanjutnya sampel dilakukan proses pemolesan dengan menggunakan serbuk alumina yang telah di campur air (gambar 3.17). Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus, bebas goresan, dan mengkilap seperti cermin serta menghilangkan ketidakteraturan sampel hingga orde  $0.01 \mu\text{m}$ . Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel.



**Gambar 3.17** Proses pemolesan

e. Etsa (*etching*)

Etsa merupakan suatu proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberikan zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang sesuai.

Dalam penelitian kali ini, digunakan zat etsa HF 0.5 %. Sampel yang telah di poles dan dicuci bersih, dicelupkan ke dalam larutan HF 0.5% selama kurang lebih 15 detik kemudian dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan.

### 3.3.7 Pengujian Sampel

#### 3.3.7.1 Uji komposisi kimia

Uji komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan mesin Spektrometer (gambar 3.18.a). Sampel uji komposisi kimia ditembak sebanyak 3 kali, kemudian diambil nilai rata-ratanya (gambar 3.18.b). Uji komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terkandung dalam paduan, terutama dalam hal ini kadar Si dan Sr.



**Gambar 3.18** (a) Mesin spektrometer (b) Hasil uji komposisi setelah penembakan

#### 3.3.7.2 Uji tarik

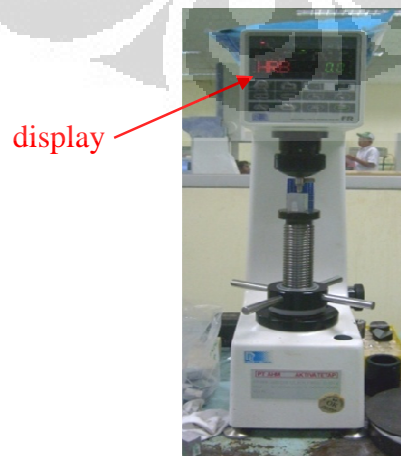
Uji tarik dilakukan dengan mesin tarik Shimadzu (gambar 3.20) yang telah dihubungkan dengan komputer. Prinsip dari uji tarik ini yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran tertentu ditarik dengan beban kontinyu sambil diukur pertambahan panjangnya. Sampel diberikan beban sebesar 200 kg kemudian ditarik sampai putus.



**Gambar 3.19** Mesin uji tarik Shimadzu

### 3.3.7.3 Uji kekerasan

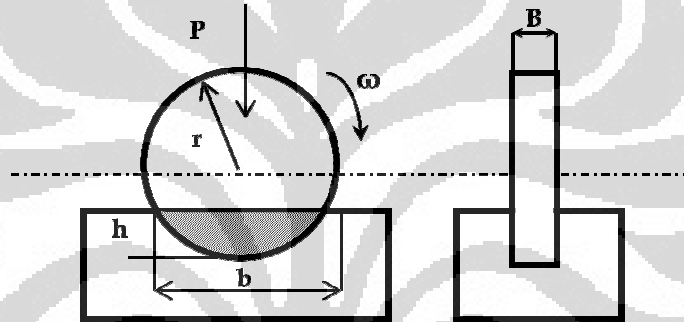
Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap deformasi plastis setempat. Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk pengukuran kekerasan. Dalam penelitian kali ini, digunakan metode Rockwell (gambar 3.19) tipe B. Dengan metode pengujian nilai kekerasan dapat langsung dibaca pada *display* dalam skala HRB. Sampel diindentasi dengan menggunakan bola baja dengan diameter 1/16 inci. Beban yang diberikan sebesar 100 kg sesuai dengan standar uji kekerasan ASTM E-18. Sampel diindentasi sebanyak 7 kali kemudian diambil nilai rata-ratanya.



**Gambar 3.20** Mesin uji kekerasan Rockwell

### 3.3.7.4 Uji aus

Uji keausan dilakukan dengan metode Ogoshi dimana sampel memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan secara berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan sampel. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka makin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Skema uji keausan dengan metode Ogoshi dapat di lihat pada gambar berikut:



Gambar 3.21 Skema uji keausan Ogoshi

Jejak keausan kemudian diukur dengan mikroskop ukur dan dihitung dengan persamaan berikut untuk mengukur besarnya volume material yang terabrasi (W):

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12r} \dots\dots\dots 3.1$$

Dengan B adalah tebal revolving disk (mm), r adalah jari-jari *disc* (mm), b adalah lebar celah yang terabrasi (mm). Sedangkan laju keausan (V) ditentukan sebagai perbandingan volume terabrasi (W) dengan jarak luncur x (setting pada mesin uji):

$$V = \frac{W}{x} = \frac{B \cdot b^3}{12r \cdot x} \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana:

- B (Tebal cincin putar) = 3 mm
- r (Jari-jari cincin putar) = 15 mm
- x (Jarak luncur) = 100 m

#### 3.3.7.5 Pengamatan struktur mikro

Sampel struktur mikro yang telah dipreparasi di amati di bawah mikroskop optik manual dan digital. Dalam pengamatan kali ini digunakan dua perbesaran, yaitu perbesaran 50X dengan menggunakan mikroskop optik manual dan 200X dengan menggunakan mikroskop optik digital. Kemudian sampel di ambil foto mikronya dengan mengambil bagian yang menarik untuk diamati. Pengamatan dengan dua perbesaran ini dimaksudkan untuk lebih memperjelas banyaknya porositas yang terdapat didalamnya dan pesebaran Si primer serta Si eutektik pada struktur mikro untuk setiap penambahan variabel Sr.

Untuk perbesaran 50X dimaksudkan untuk melihat jumlah porositas yang terdapat didalamnya karena dari hasil pengujian tarik didapat porositas pada permukaan patahnya dan pesebaran silikon primer. Untuk perbesaran 200X dimaksudkan untuk mengetahui perubahan dan pesebaran silikon eutektik. Hal ini berguna untuk menganalisa, variabel penambahan Sr manakah yang paling optimal merubah struktur mikronya.

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 HASIL DAN ANALISA KOMPOSISI KIMIA

Pengujian komposisi kimia dilakukan terhadap seluruh sampel untuk setiap variabel. Setiap sampel uji komposisi masing-masing variabel diambil tiga penembakan hasil dari mesin spektrometer. Hasil yang diambil adalah rata-rata dari ketiganya. Pengamatan komposisi lebih dititikberatkan pada kadar silikon dan stronsium untuk setiap sampel pada masing-masing variabel karena pada proses peleburannya dilakukan penambahan dua unsur tersebut. Berikut tabel hasil pengujian komposisi kimia:

**Tabel 4.1** Hasil pengujian komposisi kimia

Unsur Paduan	Variasi Penambahan <i>Modifier Sr</i> (wt %)				
	0	0.12	0.19	0.26	0.33
Si	16.06	15.89	16.08	15.59	15.29
Fe	0.310	0.329	0.336	0.294	0.313
Cu	1.049	1.122	1.000	0.937	1.059
Mn	0.043	0.045	0.043	0.040	0.042
Mg	1.049	1.029	1.030	0.967	0.933
Cr	0.094	0.177	0.351	0.279	0.177
Ni	1.051	1.175	1.180	1.093	1.079
Zn	0.055	0.066	0.053	0.052	0.062
Ti	0.047	0.146	0.207	0.208	0.146
Pb	0.016	0.017	0.013	0.013	0.016
Sn	0.003	0.005	0.0077	0.0056	0.0051
Sr	0.004	0.125	0.159	0.236	0.316

Hasil pengujian komposisi pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa kadar Si hasil penembakan sangat bervariasi. Kadar Si yang diharapkan adalah 16% ternyata hasil pengujiannya berada pada *range* 15,29% hingga 16,08% dan tidak ada yang tepat 16%. Namun, secara umum kadar Si masuk dalam paduan Al-Si hipereutektik dengan kadar Si  $> 12\%$ <sup>[2]</sup>. Penyimpangan terbesar 4,44% yang

terjadi pada sampel 0,33%Sr dan penyimpangan terkecil 0,38% yang terjadi pada sampel 0%Sr.

Kadar ideal 16% Si yang ingin dicapai kemungkinan sangat kecil karena sulitnya menentukan jumlah kadar Si yang ada pada leburan AC8A sehingga jumlah penambahan Si padat 99% merupakan perkiraan. Kemudian karena pengaruh penambahan *modifier* (Al-10Sr) menjadikan kadar Si semakin menurun karena jumlah Si dalam *modifier* sangat kecil. Sehingga trennya semakin banyak penambahan *modifier*, kadar Si dalam produk semakin berkurang, walaupun terdapat penyimpangan pada sampel 0,19%Sr. *Master alloy* yang dipakai, Al-10Sr, mempunyai kadar Si yang rendah sehingga wajar apabila tren Si menurun.

Selain Si, Sr pun menyimpang dari yang telah diperhitungkan. Untuk sampel 0%Sr yang seharusnya tidak terdapat kandungan Sr ternyata ada sedikit Sr sebesar 0,004%. Hal ini disebabkan pada saat pengecoran, sampel 0%Sr dilakukan pengecoran paling terakhir. Terdapat kemungkinan Al sisa yang masih menempel di dinding *ladle* mengandung Sr sehingga tercampur ke dalam leburan dan melarut. Namun, kandungan Sr yang kecil ( $< 0,1\%$  Sr) dampaknya tidak besar pengaruhnya untuk merubah stuktur mikro paduan Al-Si hipereutektik<sup>[5]</sup>.

Untuk sampel 0,12%Sr aktualnya terdapat 0,125% Sr, sampel 0,19%Sr aktualnya terdapat 0,159% Sr, sampel 0,26%Sr aktualnya terdapat 0,236% Sr, dan sampel 0,33%Sr aktualnya terdapat 0,316% Sr. Penyimpangan hasil terhadap Sr yang diharapkan pada sampel 0,12%Sr adalah 4,17%, sampel 0,19%Sr adalah 16,32%, sampel 0,26%Sr adalah 9,23%, dan pada sampel 0,33%Sr adalah 4,24%. Penyimpangan terkecil terjadi pada sampel 0,12%Sr dan penyimpangan terbesar terjadi pada sampel 0,19%Sr.

Terdapat dua penyebab lain terjadinya ketidaksesuaian antara perhitungan dan aktual, yaitu pengadukan yang kurang rata dan jumlah pengambilan leburan Al pada *ladle* yang berbeda-beda. Penambahan *modifier* Sr dilakukan di dalam *ladle* dan diaduk dengan logam baja (obeng) seadanya karena tidak terdapat pengaduk khusus untuk *ladle*. Obeng mempunyai penampang yang kecil sehingga untuk memastikan *modifier* Sr telah melebur penuh dan tersebar rata dalam leburan Al kurang efektif dan efisien. Hal ini terlihat pada data hasil pengujian komposisi kimia dari mesin spektrometer yang sangat bervariasi komposisi Sr-



nya, bahkan pada beberapa variabel antara penembakan satu dan lainnya menunjukkan angka yang berbeda jauh.

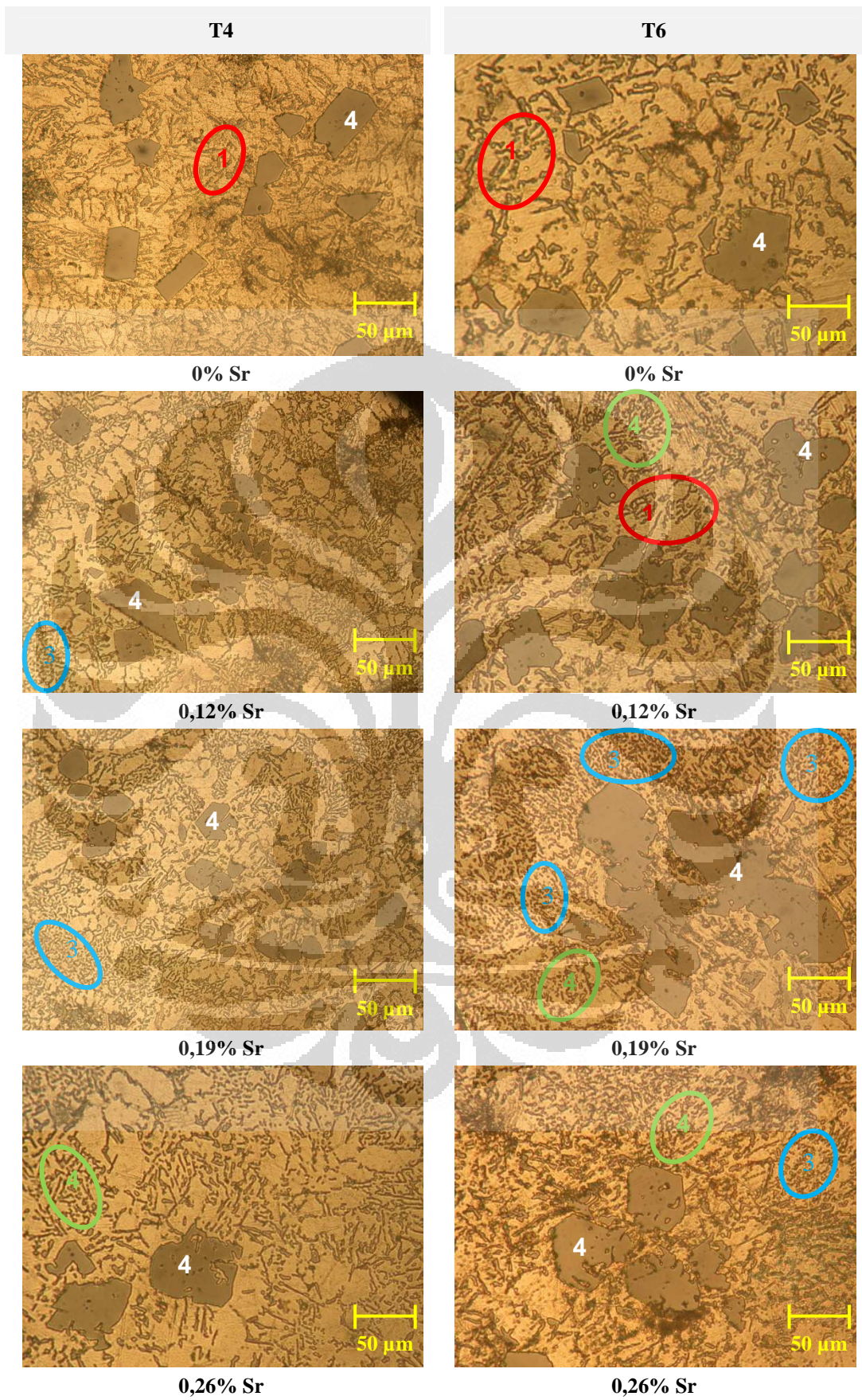
Penyebab utama kedua adalah pengambilan leburan Al dengan *ladle* hanya dengan memperkirakan volumenya saja tanpa terdapat standar atau tanda yang jelas untuk memperkirakan volume leburan Al yang dibutuhkan. Hal ini terjadi karena sulitnya memberikan tanda pada *ladle* yang bertujuan agar volumenya sama pada pengambilan leburan Al. Penandaan dengan menggunakan spidol tidak bisa dilakukan karena minyak spidol terbakar. Sehingga proses pengambilan leburan Al untuk setiap sampel dimungkinkan berbeda-beda volumenya karena tanpa adanya ukuran yang jelas.

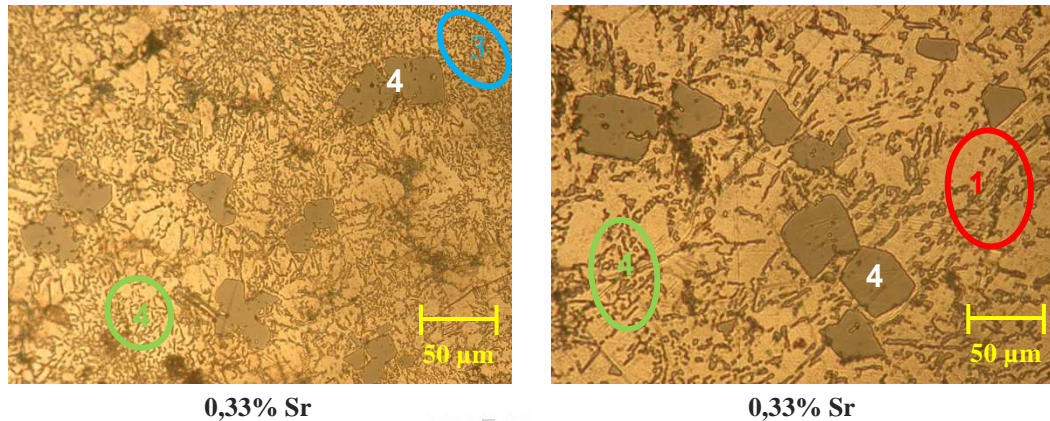
Walaupun hampir tidak ada yang sesuai dengan yang telah diperhitungkan, tren kadar Sr aktual naik sehingga dapat dilihat perbedaan yang jelas antara satu variabel dengan variabel yang lain. Oleh karena material pembentuk berasal dari AC8A maka range unsur-unsur lain dalam paduan berada tidak jauh dari standar komposisi AC8A. Terdapat unsur yang tidak sesuai, yaitu Ti dan Cr, namun tidak melenceng jauh dari standar.

## **4.2 HASIL DAN ANALISA FOTO STRUKTUR MIKRO**

Sifat mekanis suatu paduan Al-Si ditentukan struktur mikro yang terbentuk pada paduan tersebut. Pengambilan foto struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat penambahan *modifier* Sr yang dilakukan perlakuan panas T4 dan T6. Pada paduan Al-Si hipereutektik terdapat dua fasa yang sangat menentukan sifat mekanis, yaitu Si eutektik dan Si primer yang dapat dilihat dari hasil foto mikro. Perubahan yang terjadi pada struktur mikro ini turut menyebabkan perubahan sifat mekanis paduan.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat penambahan *modifier* Sr yang dilakukan perlakuan panas T4 dan T6. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan bantuan mikroskop optik manual dan digital dengan perbesaran 50X dan 200X. Perbesaran 50X bertujuan untuk melihat poros dan persebaran Si primer, sedangkan perbesaran 200X untuk melihat bentuk dan distribusi Si eutektik dan Si primer. Berikut hasil pengamatan struktur mikro:





**Gambar 4.1** Hasil pengamatan struktur mikro hasil perlakuan panas T4 & T6 dengan mikroskop optik digital dengan perbesaran 200X (Si eutektik 1-*acicular*, 2-*lamellar*, 3-*fibrous*; 4-Si primer)

Struktur mikro paduan Al-Si sangat tergantung dari komposisi kimia dan proses pengecoran. Komposisi Si yang lebih besar dari 12%, berdampak pada struktur mikro hasil coran terdapat Si primer dan Si eutektik yang kasar. Proses pembekuan yang cepat dapat mereduksi ukuran butir menjadi lebih halus, dan begitu pula sebaliknya. Proses perlakuan panas bertujuan untuk membentuk presipitat yang tersebar merata pada struktur mikronya selama proses *aging*. Presipitat pada struktur mikro dapat dilihat dengan menggunakan SEM, TEM, ataupun EDS. Sehingga perbedaan struktur mikro antara hasil perlakuan panas T4 dan T6 dengan mikroskop optik (gambar 4.1) tidak dapat dibedakan dengan jelas karena yang membedakan antara keduanya adalah terbentuknya presipitat dan fasa intermetalik akibat penambahan Sr. Oleh karena itu, hasil foto mikro T4 dan T6 dianggap sama untuk menganalisa perubahan Si eutektik dan Si primer saja.

Menurut John E. Gruzleski dan Bernard M. Closset dalam bukunya *The Treatment of Liquid Aluminium-Silikon Alloys*, modifikasi dengan stronsium sering kurang uniform dibanding sodium<sup>[5]</sup>. Perubahan struktur mikro dari struktur Si eutektik yang kasar (*acicular*) ke struktur yang halus tidak sepenuhnya menjadi *fibrous*, tetapi masih terdapat sebagian kecil *lamellar*<sup>[5]</sup>. Namun, hasil modifikasi terbaik tidak sepenuhnya *fibrous* ataupun struktur yang sangat halus. Apabila mengacu dari buku tersebut yang mengelaskan hasil modifikasi menjadi enam kelas, kelas enam tidak terdapat dalam hasil penelitian ini.

Dari hasil foto mikro pada gambar 4.1, pada sampel 0%Sr terdapat struktur Si eutektik yang kasar dan berbentuk jarum-jarum kasar (*acicular*) dan Si primer

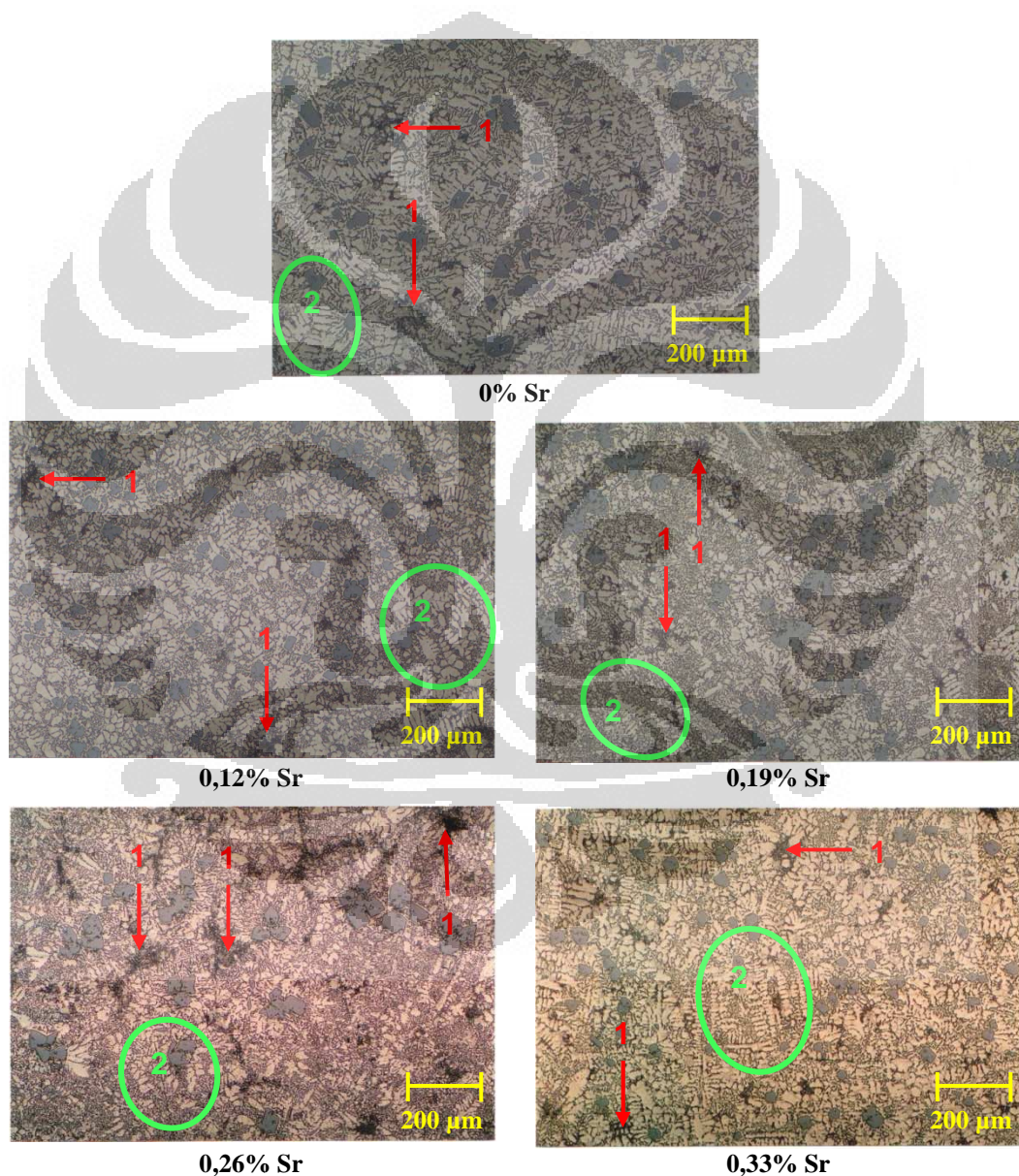
juga berbentuk blok-blok dengan sudut yang tajam. Pada sampel 0,12%Sr, bentuk struktur Si eutektik terdiri dari sebagian besar *lamellar* dan masih terdapat sedikit *acicular* dan *fibrous* serta Si primernya sudah mulai berubah menjadi blok-blok Si primer dengan sudut yang lebih halus. Pada sampel 0,19%Sr, bentuk struktur Si eutektik terdiri dari sebagian besar *fibrous* dan sedikit *lamellar* serta Si primernya juga berubah menjadi blok-blok Si primer dengan sudut yang lebih halus. Pada sampel 0,26%Sr, bentuk struktur Si eutektik terdiri dari *fibrous* dan *lamellar* yang cukup seimbang dan terlihat bentuk yang kasar serta Si primernya dengan sudut yang lebih halus. Pada sampel 0,33%Sr, bentuk struktur Si eutektik terdiri dari *lamellar*, *fibrous*, dan mulai banyak bentuk *acicular* serta Si primernya berbentuk blok-blok dengan sudut mulai kasar lagi.

Sr mempunyai peran yang sangat penting untuk merubah Si eutektik dari kasar menjadi lebih halus, walaupun pada hasil foto mikro pada beberapa sampel Si primer terlihat pecah-pecah namun, bentuknya masih besar-besar. Sifat mekanis suatu paduan Al-Si ditentukan struktur mikro yang terbentuk pada paduan tersebut. Semakin halus struktur mikronya semakin baik sifat mekanisnya. Dari hasil pengamatan struktur mikro, analisa struktur terbaik adalah pada sampel 0,19% Sr. Apabila mengacu menurut John E. Gruzleski dan Bernard M. Closset dalam bukunya *The Treatment of Liquid Aluminium-Silikon Alloys* dan metallurg aluminum, maka 0,19% Sr berada pada kelas empat dengan struktur yang terdapat didalamnya struktur *lamellar* yang mulai pecah menuju *fibrous* dan struktur *acicular* yang hilang<sup>[15],[17]</sup>. Sedangkan untuk struktur sampel sebelum 0,19% Sr belum mengalami modifikasi yang optimal dengan ciri terdapat struktur mikro dengan bentuk *acicular* dan setelah sampel 0,19% Sr telah mengalami overmodifikasi, yaitu pengkasaran kembali struktur Si<sup>[1]</sup>.

#### 4.2.1 Porositas pada Foto Mikro

Foto mikro juga dapat digunakan untuk mengetahui tingkat dan ukuran poros apabila tidak dilakukan uji vakum (uji tingkat porositas). Selain itu, pesebaran Si dan besar kecil dendrit secara umum dapat terlihat pada perbesaran foto mikro yang lebih kecil. Sehingga, perbesaran 50X dapat digunakan untuk melihat porositas, besar kecil dendrit, dan pesebaran Si. Penambahan *modifier* Sr

juga mempengaruhi jarak antar lengan dendrit (*Dendrite Arm Spacing*). Dengan penambahan *modifier* Sr akan membuat jarak antara lengan dendrit menjadi semakin pendek. Pada literatur, presipitat gas terdapat pada ruangan antar lengan dendrit (DAS) dan juga tersebar/terdistribusi dengan baik<sup>[12]</sup>. Sehingga semakin kecil DAS semakin kecil pula porositas yang terjadi. Berikut hasil foto mikro dengan perbesaran 50X:



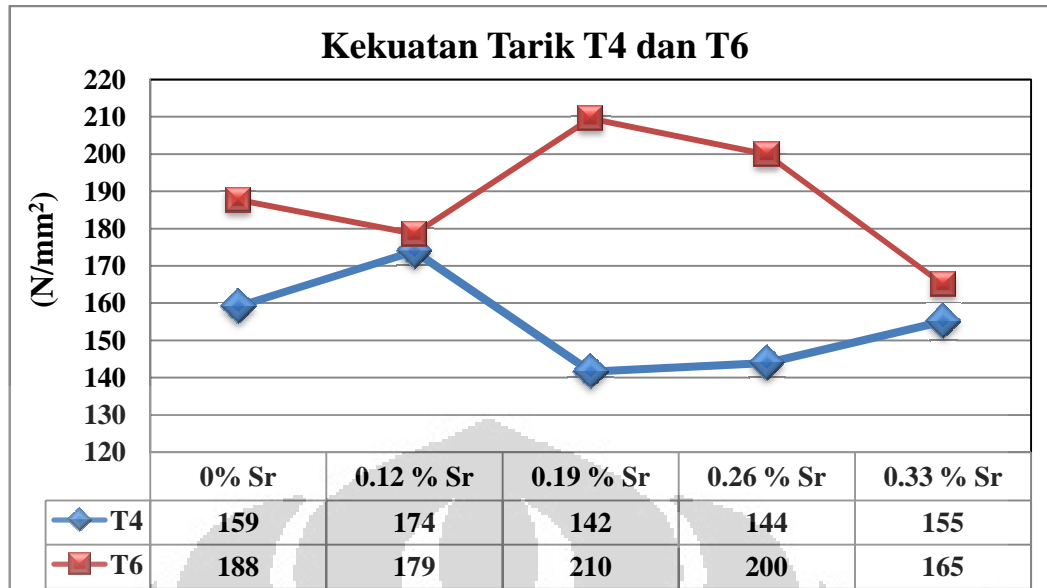
**Gambar 4.2** Hasil pengamatan struktur mikro hasil perlakuan panas T6 dengan mikroskop optik manual dengan perbesaran 50X (1-*shrinkage*, dan 2-dendrit)

Pada gambar 4.2, sebelum penambahan dan setelah penambahan *modifier* Sr dapat dilihat adanya kecenderungan dendrit semakin kecil sampai sampel 0,19%Sr dan kembali membesar setelah itu. Dendrit adalah tempat pembentukan porositas dan fasa intermetalik. Dengan semakin halus ukuran dendrit maka porositas dan fasa intermetalik yang terbentuk semakin halus dan tersebar merata. Distribusi dan bentuk porositas dan fasa intermetalik yang tersebar merata akan meningkatkan sifat-sifat mekanis dibanding yang mengumpul di satu tempat.

Pada gambar 4.2 tidak terlihat cacat *pin hole*, tetapi yang terlihat adalah *shrinkage*. *Shrinkage* ditemui di semua sampel, bahkan semakin banyak Sr *shrinkage* semakin besar. Pada literatur ASM handbook volume 15, perbedaan antara porositas gas (*pin hole*) dengan *shrinkage* adalah bentuk *shrinkage* yang tidak teratur<sup>[10]</sup>. Salah satu penyebab *shrinkage* adalah temperatur penuangan yang tinggi sehingga mengurangi waktu pembekuan<sup>[10]</sup>. Pada saat pengecoran, temperatur aktual yang diukur menggunakan termokopel adalah 730°C yang biasanya digunakan temperatur maksimum 50°C lebih tinggi dari titik lelehnya dengan titik leleh Al-16Si adalah 650°C. *Shrinkage* juga disebabkan karena poros gas yang saling terhubung oleh kurangnya nukleasi pada akhir pembekuan<sup>[10]</sup>. *Shrinkage* mengurangi sifat mekanis, pada uji tarik menjadi inisiasi dan propagasi retak. Tidak dilakukannya *red degassing* memungkinkan terjadinya *shrinkage*.

#### **4.3 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TARIK**

Sample uji tarik yang didapatkan dari hasil pengecoran dilakukan uji tarik dengan menggunakan mesin uji tarik Shimadzu. Terdapat 4 sample uji tarik untuk setiap sampelnya dan hanya tiga sampel yang diambil sebagai data uji tarik. Pengujian bertujuan untuk menentukan nilai kekuatan maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) paduan Al-Si hipereutektik sebelum dan setelah penambahan *modifier* Sr setelah dilakukan proses perlakuan panas T4 dan T6. Dari data yang diperoleh, kemudian di plot dalam satu grafik Kadar Sr vs UTS (N/mm<sup>2</sup>). Grafik yang didapatkan adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.3** Grafik pengaruh penambahan Sr dan perlakuan panas T4 & T6 terhadap kekuatan tarik

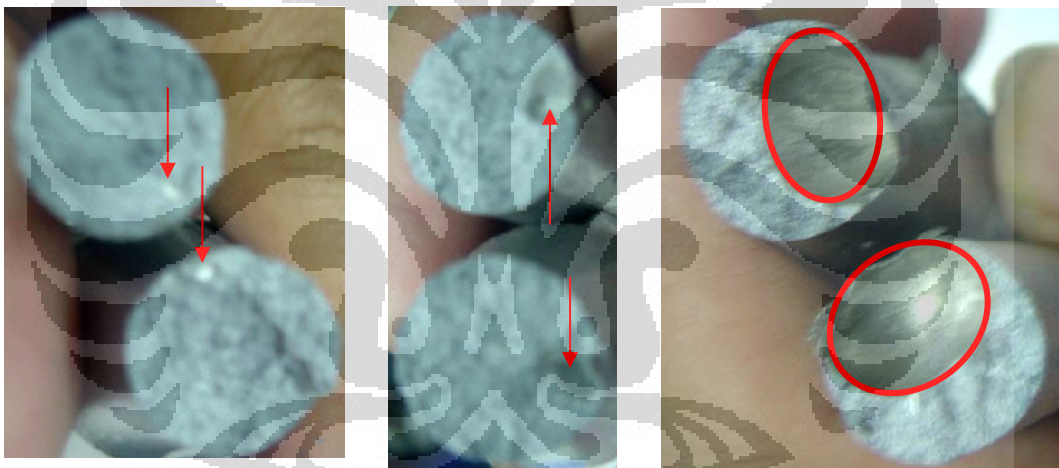
Dari grafik di atas (gambar 4.3) kekuatan tarik hasil perlakuan panas T4 cenderung menurun, kekuatan tarik tertinggi pada sampel 0,12%Sr. Berbeda dengan kekuatan tarik hasil perlakuan panas T6 cenderung naik sampai pada sampel 0,19%Sr dan kemudian turun sampai sampel 0,33%Sr. Oleh karena tidak dilakukan pengujian tarik hasil *as-cast*, digunakan hasil pengujian tarik dengan sampel literatur yang memiliki komposisi kimia mendekati komposisi kimia sampel yang diteliti. Menurut standar BS 1490:1998 alloys, paduan tersebut adalah LM30 (16-18% Si) hasil *as-cast*, kekuatan tariknya 150 N/mm<sup>2</sup>[2].

Dengan membandingkan hasil penelitian dengan literatur, hasil perlakuan panas T4 terdapat dua sampel dibawah literatur, yaitu variabel 0,19% dan 0,26% Sr, sedangkan hasil perlakuan panas T6 semuanya di atas literatur. Terdapatnya hasil pengujian tarik yang di bawah *as-cast* lebih disebabkan karena faktor *shrinkage* dan poros makro (gambar 4.4) yang terjadi pada struktur mikronya. *Shrinkage* ataupun poros makro (gambar 4.4) berdampak kurang baik saat pengujian, karena dapat menjadi inisiasi retak dan tempat penjalaran retak sehingga menurunkan sifat mekanisnya.

Dengan membandingkan struktur mikro antara hasil T4 dan T6 tidak ada bedanya, tetapi kekuatan tariknya berbeda. Hal ini disebabkan karena pembentukan presipitat yang belum banyak terjadi pada sampel T4 karena hanya

dilakukan penuaan pada temperatur ruang. Pada ASM handbook volume 15, T4 merupakan kondisi yang metastabil dan dapat ditingkatkan kekerasannya dengan dilakukan penuaan dari temperatur ruang ke temperatur yang lebih tinggi<sup>[10]</sup>. Apabila dilakukan penuaan pada temperatur ruang, sifat mekanisnya adalah sebagai fungsi dari waktu, bahkan dapat bertahun-tahun untuk paduan Al-Si<sup>[10]</sup>.

Sampel T6 merupakan sampel yang dapat langsung dipakai. Peningkatan yang sangat besar dari T4 ke T6 adalah sampel 0,19% Sr. Secara struktur mikro, sampel ini adalah yang paling baik sehingga memiliki kekuatan tarik hasil perlakuan panas T6 tertinggi. Apabila dibandingkan dengan literatur BS 1490:1998 alloys, sampel yang serupa komposisi kimia dan perlakuan panasnya adalah LM28 dengan hasil kekuatan tariknya  $200 \text{ N/mm}^2$ <sup>[2]</sup>.

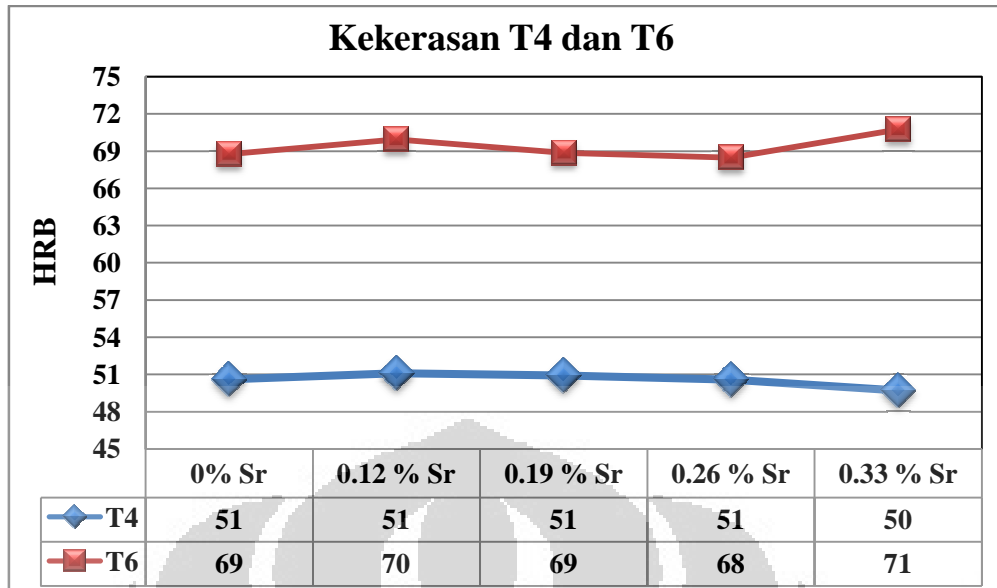


**Gambar 4.4** Cacat poros makro pada penampang hasil pengujian tarik

#### **4.4 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN KEKERASAN**

Pengujian kekerasan dilakukan pada tujuh titik yang berbeda untuk setiap sample, baik hasil dari perlakuan panas T4 (*natural aging* 360 jam) dan T6. Rata-rata dari ketujuh titik tersebut digunakan sebagai kekerasannya. Dari data yang diperoleh, kemudian di plot dalam satu grafik Kadar Sr vs Kekerasan (HRB). Grafik yang didapatkan adalah sebagai berikut:





**Gambar 4.5** Grafik pengaruh penambahan Sr dengan perlakuan panas T4 & T6 terhadap kekerasan

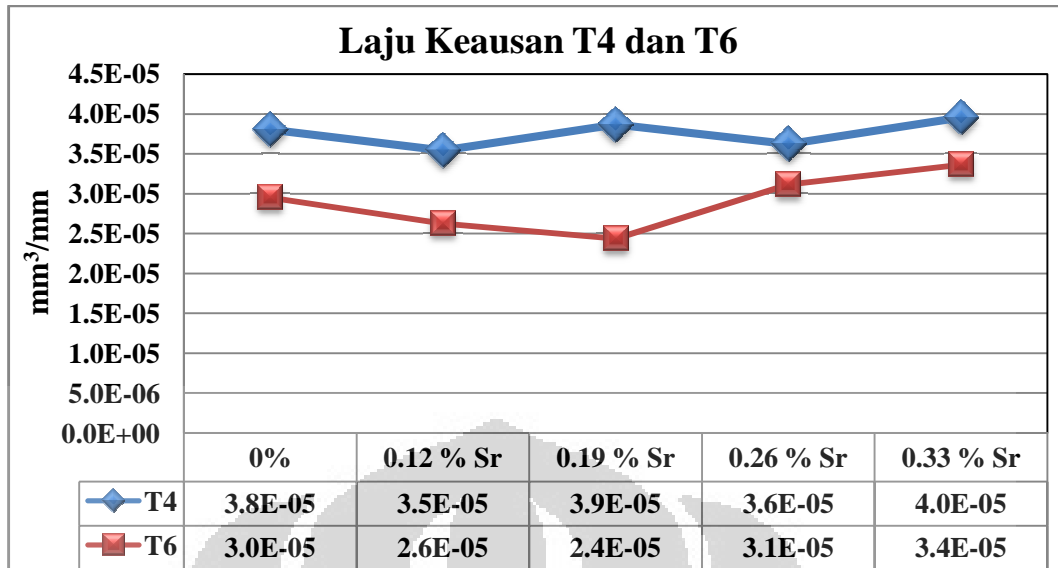
Dari grafik di atas (gambar 4.5) kekerasan cenderung rata, baik hasil perlakuan panas T4 dan T6. Apabila dibandingkan dengan literatur BS 1490:1998 alloys (sama seperti pada analisa pengujian tarik), material yang serupa adalah LM30 dengan kekerasan hasil *as-cast* adalah 110 BHN<sup>[2]</sup>. Apabila dikonveriskan ke HRB maka sama dengan 70 HRB<sup>[28]</sup>. Secara umum, kekerasan hasil penelitian berada di bawah kekerasan *as-cast* yang terdapat pada literatur. Apabila dibandingkan dengan hasil perlakuan panas T6, menurut standar BS 1490:1998 alloys, sampel hasil uji keras yang telah dilakukan perlakuan panas T6 yang serupa adalah material LM28 dengan kekerasan 120 BHN<sup>[2]</sup>. Apabila dikonveriskan ke HRB maka sama dengan 75 HRB<sup>[28]</sup>.

Semua data hasil dari perlakuan panas T4 dan T6 tidak ada yang sama atau lebih besar dari literatur, tidak ada kecenderungan meningkat baik pada sampel T4 dan T6. Sampel yang diambil untuk pengujian keras adalah pada bagian *gating system* bagian atas (pembekuan terakhir) dan tidak dilakukannya *redegassing*, dimungkinkan banyak terjadi poros mikro. Sehingga dapat dianalisa bahwa kekerasan yang didapat dari penelitian merupakan kekerasan minimum, dan tren yang sama dipengaruhi oleh poros mikro yang dihasilkan sebagai dampak penambahan Sr dan tidak dilakukannya *redegassing*.

Semua sampel perlakuan panas T6 meningkat dibanding T4, padahal struktur mikronya hampir sama. Hal ini disebabkan karena pembentukan presipitat yang belum banyak terjadi pada sampel T4 karena hanya dilakukan penuaan pada temperatur ruang. Pada ASM handbook volume 15, T4 merupakan kondisi yang metastabil dan dapat ditingkatkan kekerasannya dengan dilakukan penuaan dari temperatur ruang ke temperatur yang lebih tinggi<sup>[10]</sup>. Apabila dilakukan penuaan pada temperatur ruang, sifat mekanisnya adalah sebagai fungsi dari waktu, bahkan dapat bertahun-tahun untuk paduan Al-Si<sup>[10]</sup>.

#### **4.5 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN KEAUSAN**

Pengujian keausan ini penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *modifier* Sr terhadap ketahanan aus material. Pengujian keausan dilakukan dengan mengabrasi tiga titik yang berbeda untuk setiap sampelnya. Data yang didapatkan dari hasil uji keausan ini adakah besar celah terabrasif (mm), kemudian digunakan untuk menentukan volume yang terabrasif. Volume celah terabrasif kemudian digunakan untuk menentukan nilai laju keausan material. Besar laju keausan menentukan ketahanan aus material tersebut, semakin kecil nilai laju keausan material, maka semakin besar ketahanan aus material tersebut dan sebaliknya. Umumnya ketahanan aus dari material Al-Si hipereutektik tinggi karena terdapat Si yang tinggi yang dapat berfungsi memperkeras paduan. Data hasil pengujian laju aus didapat data dan dilakukan pengeplotan pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.6 Grafik pengaruh penambahan Sr dan perlakuan panas T4 & T6 terhadap laju aus

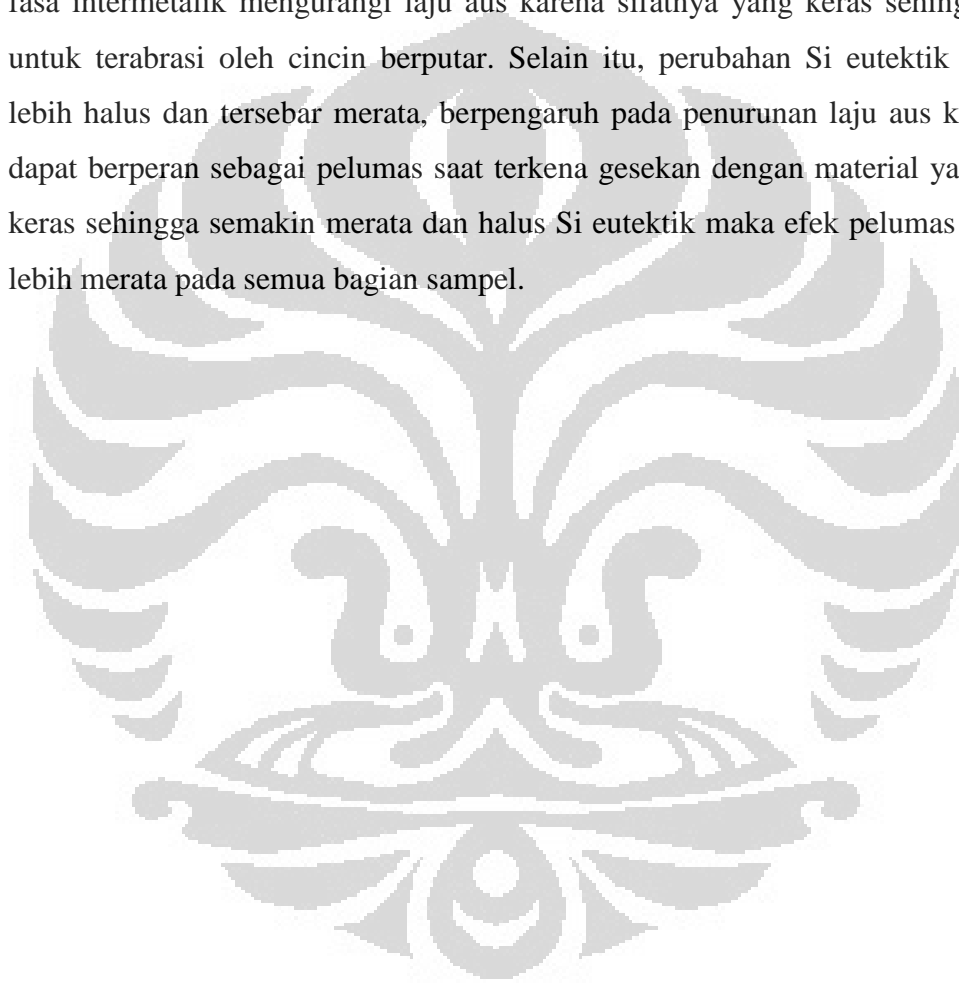
Pada dasarnya keausan didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya<sup>[29]</sup>. Sedangkan kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan material terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras<sup>[29]</sup>. Oleh sebab itu, semakin keras material maka semakin sulit pula terjadinya kehilangan material sebagai akibat dari pergerakan relatif cincin terhadap material dalam pengujian keausan.

Dari grafik di atas (gambar 4.6) laju aus hasil perlakuan panas T4 cenderung rata karena dari sampel 0%Sr hingga 0,33%Sr grafik turun-naik pada nilai laju aus yang berdekatan. Berbeda dengan laju aus hasil perlakuan panas T6 cenderung turun sampai pada sampel 0,19% Sr dan kemudian naik hingga sampel 0,33%Sr. Apabila dilihat dari struktur mikro (gambar 4.1), perubahan struktur mikro dari bentuk Si eutektik yang kasar ke halus dapat meningkatkan sifat mekanis dan terbukti bahwa laju aus terendah adalah sampel 0,19%Sr.

Menurut Dheerendra Kumar Dwivedi dalam jurnalnya yang berjudul *Wear Behaviour of Cast Hypereutectic Aluminium Silicon Alloy*, perilaku keausan paduan aluminium tergantung dari beberapa parameter yang saling berhubungan misalnya bentuk, ukuran, komposisi dan distribusi mikro konstituen disamping kondisi aplikasi seperti beban, kecepatan sliding, temperatur, lingkungan dan *counter surface*. Adanya Si sebagai unsur paduan dalam paduan aluminium akan

meningkatkan keausan secara signifikan. Nilai ketahanan pada paduan aluminium semakin meningkat dengan penambahan Si melebihi komposisi eutektik.<sup>[30]</sup>

Dengan jumlah Si yang tinggi dapat terbentuk Si primer yang keras dapat meningkatkan kekerasan sehingga berimbas pada penurunan laju aus. Penurunan laju aus dari perlakuan panas T4 ke T6 juga dipengaruhi oleh partikel keras yang tersebar merata. Partikel keras tersebut dapat berupa presipitat atau fasa intermetalik yang terjadi pada saat proses *aging*. Oleh sebab itu, presipitat dan fasa intermetalik mengurangi laju aus karena sifatnya yang keras sehingga sulit untuk terabrasi oleh cincin berputar. Selain itu, perubahan Si eutektik menjadi lebih halus dan tersebar merata, berpengaruh pada penurunan laju aus karena Si dapat berperan sebagai pelumas saat terkena gesekan dengan material yang lebih keras sehingga semakin merata dan halus Si eutektik maka efek pelumas tersebut lebih merata pada semua bagian sampel.



## BAB V KESIMPULAN

1. Penambahan *modifier* stronsium pada paduan Al-Si hipereutektik mengubah bentuk struktur silikon eutektik dari *acicular* menjadi *lamellar* dan *fibrous*.
2. Penambahan optimal *modifier* stronsium pada paduan Al-Si hipereutektik adalah pada variabel 0,19% Sr dengan perubahan struktur silikon eutektik dari *acicular* menjadi *lamellar* dan *fibrous*.
3. Struktur mikro masing-masing variabel penambahan stronsium tidak terdapat perbedaan antara sampel perlakuan panas T4 dan T6.
4. Perlakuan panas T4 ke T6 merubah sifat mekanis dengan prosentase peningkatan rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 23% dan nilai kekerasan sebesar 37% serta prosentase penurunan rata-rata nilai laju aus sebesar 23%.
5. Nilai kekuatan tarik paduan Al-Si hipereutektik hasil penambahan *modifier* stronsium dan perlakuan panas T4 & T6 adalah sebagai berikut:
  - a. Nilai kekuatan tarik sampel T4 meningkat sampai variabel 0,12% Sr sebesar  $174 \text{ N/mm}^2$  dan kemudian turun sampai variabel 0,33% Sr.
  - b. Nilai kekuatan tarik sampel T6 meningkat sampai variabel 0,19% Sr sebesar  $210 \text{ N/mm}^2$  dan kemudian turun sampai variabel 0,33% Sr.
6. Nilai kekerasan, baik sampel T4 dan T6, tidak mengalami kenaikan atau penurunan antar variabelnya karena nilai kekerasannya yang hampir sama.
7. Nilai laju aus paduan paduan Al-Si hipereutektik hasil penambahan *modifier* stronsium dan perlakuan panas T4 & T6 adalah sebagai berikut:
  - a. Nilai laju aus sampel T4 tidak terlalu jelas trennya meningkat atau menurun karena turun naik dari satu variabel ke variabel lain.
  - b. Nilai laju aus sampel T6 menurun sampai variabel 0,19% Sr sebesar  $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{mm}$  dan kemudian naik sampai variabel 0,33% Sr.

## REFERENSI

1. PT. X. *Modul Pembuatan Piston*. Jakarta.
2. ASM Handbook. (2004). *Metallography and Microstructures* (volume 9). ASM International: The Materials Information Company. 1703.
3. Wikipedia (28 Januari 2007). *Hypereutectic Piston*. 1 Desember 2008. <http://www.wikipedia.org/wiki/Piston>
4. Gruzleski, John E., & Clusset, Bernard M. (1990). *The Treatment of Liquid Aluminium-Silikon Alloys*. Illinois: The American Foundrymen's Society, Inc. 27, 28, 39-41, 107, 115, 120.
5. Autoectech. *Piston*. 7 september 2008. <http://www.autoectech.com/motorcycle%20spare%20parts/piston%20kit/piston.jpg/>
6. Suharno, Bambang, & Arifin, Bustanul. (2007). *Bahan Mata Kuliah Pengecoran Logam: Paduan Aluminium Silikon*. Depok: Departemen Metalurgi & Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
7. Roy Woodward. *Aluminum and Aluminum Alloys – Designations*. 1 Desember 2008. <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=310>
8. Nurjaya, Dwi Marta. (2008). *Bahan Mata Kuliah Standardisasi Material: Metal Designation Standards*. Depok: Departemen Metalurgi & Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
9. ASM Handbook. (2004). *Casting* (volume 15). ASM International: The Materials Information Company. 361, 690, 991, 1056, 1061, 1077, 1631 – 1635, 1691.
10. United States Patent 5316070. (1989). *Controlled Casting of Al-Si Hypereutectic Alloys*. Melbourne.
11. Campbell, John. (2000). *Castings*. University of Birmingham: Butterworth-Heinemann. 84, 146, 270
12. Brown, John R. (1999). *Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook* (7th ed.). Oxford: Butterworth Heinemann. 23, 31, 32, 33, 37.

13. Jain, P. L. (1994). *Foundry Technology*. New Delhi: Tata McGraw Hill
14. Sutopo. (2007). *Bahan mata kuliah kesetimbangan fasa: Solidification*. Depok: Departemen Metalurgi & Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
15. Metallurg Aluminum. *Modification of Aluminium Silicon Foundry Alloys*. 10 Oktober 2008. [http://metallurg-al.com/Downloads/tech\\_paper\\_pdfs/Guide Modif AlSi Alloys.pdf](http://metallurg-al.com/Downloads/tech_paper_pdfs/Guide_Modif_AlSi_Alloys.pdf)
16. Soton. *Solidification of Al-Si Alloys*. 31 Mei 2009. <http://www.soton.ac.uk/~pasr1.htm>.
17. Guthy, Hema V. (2002). Thesis: *Evolution of the Eutectic Microstructure in Chemically Modified and Unmodified Aluminum Silicon Alloys*. Worcester Polytechnic Institute: Materials Science and Engineering.
18. Key to Metals. *Aluminum and Aluminum Alloys Casting Problems*. 10 Oktober 2008. <http://www.key-to-nonferrous.com>
19. C. L. Xu, Y. F. Yang, H. Y. Wang, Q. C Jiang. (2007). *Effects of Modification and Heat-treatment on The Abrasive Wear Behavior of Hypereutectic Al-Si Alloys*.
20. Roger, Kevin. (1990). *Casting of Modified Al Base Si-Cu-Ni-Mg-Mn-Zr Hipereutectic Alloys*. Melbourne.
21. Cahn, Robert W., & Hansen, Peter. (1996). *Fourth, Revised And Enhanced Edition* (volume 2). Netherland. Elsevier Science B.V.
22. Journal of Material Science. Aluminium Development Council of Australia Limited. *Aluminium Technology Book 6: Casting Aluminium*. Australia: Cumming Enterprises Pty.Ltd.
23. ASM Handbook. (2004). *Heat Treatment* (volume 4). ASM International: The Materials Information Company. 1853, 1861, 1958 – 1959.
24. Callister, W.D, Jr. (2004). *Materials Science and Engineering An Introduction*.

25. Muchtar, Myrna A. (2007). *Bahan Mata Kuliah Heat Surface Treatment*. Depok: Departemen Metalurgi & Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
26. Brooks C.R. *Heat Treatment, Structure, and Properties of Nonferrous Alloys*. American Society For Metals, Metal Park, Ohio 44073.
27. Singh, Vijendra. (2002). *Physical Metallurgy*. Standard Publisher Distributors. Delhi. 2002.
28. Carbide Depot. *Hardness Conversion Chart*. Technical Resources for Manufacturing Professional. 30 April 2009. <http://www.carbidedepot.com/resources.htm>
29. Sutopo. (2007). *Modul Praktikum Destruktif Test*. Depok: Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Metalurgi & Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
30. Dwivedi, Dheerendra Kumar. (2005). *Wear Behaviour of Cast Hypereutectic Aluminium Silicon Alloys*. Elsevier: Materials and Design.





**LAMPIRAN A**  
**HASIL UJI KOMPOSISI KIMIA**

## 1. Hasil uji komposisi paduan AC8A

Sample Name: Al-AC8A  
 Element: SS 336 AC  
 Method: spark(s)  
 Date: 03/05/2009 11:25:54 AM  
 ID: 125827/08  
 Elements: Concentration  
 Sample No: AC8A-1  
 Quality: Melting JIS H-5202 (AC8A)  
 Sample Id:

	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %
1	11.69	0.293	1.06	0.042	1.12	0.087	1.06	0.057
2	11.70	0.289	1.06	0.042	1.13	0.086	1.07	0.058
3	11.75	0.287	1.02	0.041	1.10	0.085	1.04	0.058
4	11.73	0.290	1.06	0.041	1.12	0.086	1.07	0.058

No	Ti %	Pb %	Sn %	Al %
1	0.032	0.011	0.0019	84.5
2	0.031	0.011	0.0021	84.5
3	0.032	0.011	0.0017	84.5
4	0.032	0.012	0.0018	84.5

## 2. Hasil uji komposisi sampel variabel 0%Sr

Program: Al-AC8A  
 Comment: SS 336 AC  
 Single spark(s)

125827/08

03/13/2009 11:01:55 AM

Channels: Matrix Corr. Concentration

Sample No: AC8A-0%  
 Sample Id:

Quality: Melting JIS H-5202 (AC8A)

No	Si251_2 %	Si251_1 %	Si390_2a %	Si390_1 %	Fe259_2 %	Fe371_2 %	Fe371_1 %	Cu324_2 %
1	*11.6200	*15.4990	16.0437	*15.8492	0.3050	*0.3144	*0.2632	>0.4800
2	*11.6416	*15.8192	16.3164	*16.2021	0.3069	*0.3183	*0.2552	>0.4800
3	*11.5981	*15.0972	15.8286	*15.6243	0.3184	*0.3374	*0.2622	>0.4800

No	Cu324_3 %	Cu510_1 %	Mn293_2 %	Mn294_2 %	Mg279_1 %	Mg285_2 %	Mg382_1 %	Cr267_2 %
1	>0.1200	1.0618	*0.0457	0.0426	>0.6000	>0.1440	1.0546	0.0938
2	>0.1200	1.0385	*0.0452	0.0417	>0.6000	>0.1440	1.0413	0.0925
3	>0.1200	1.0462	*0.0475	0.0436	>0.6000	>0.1440	1.0505	0.0950

No	Cr425_3 %	Ni352_2 %	Ni352_3 %	Zn334_2 %	Zn334_3 %	Zn334_1 %	Ti499_2 %	Ti499_3 %
1	>0.1200	1.0387	>0.9600	*0.0431	0.0558	*0.0247	0.0162	0.0470
2	>0.1200	1.0280	~0.9465	*0.0424	0.0544	*0.0235	0.0163	0.0473
3	>0.1200	1.0849	>0.9600	*0.0434	0.0561	*0.0212	0.0161	0.0471

No	Be313_2 %	Bi306_2 %	Bi306_3 %	Ca396_2 %	Cd228_2 %	Ce413_3 %	Co345_2 %	Co345_3 %
1	0.0001	-0.0052	0.0019	0.0112	0.0014	-0.0076	-0.0039	-0.0017
2	0.0001	-0.0056	0.0021	0.0110	0.0017	-0.0078	-0.0039	-0.0018
3	0.0001	-0.0052	0.0023	0.0111	0.0018	-0.0079	-0.0041	-0.0017

No	Ga417_3 %	Li670_3 %	Na588_2 %	Na588_3 %	P178_3 %	Pb405_2 %	Pb405_3 %	Sb15X_2 %
1	0.0101	*0.0001	*0.0001	*0.0001	*0.0005	*0.0184	0.0162	-0.0001
2	0.0099	*0.0001	*0.0001	*0.0000	*0.0001	*0.0181	0.0154	-0.0002
3	0.0102	*0.0001	*0.0001	*0.0000	*0.0005	*0.0186	0.0162	-0.0001

No	Sn317_2 %	Sn317_3 %	Sr460_3 %	V311_2 %	Zr343_2 %	Al226_2 %	Al226_3 %	Al283_2 %
1	-0.0033	0.0032	0.0023	0.0149	0.0019	80.2085	<80.2085	80.2085
2	-0.0034	0.0031	0.0021	0.0148	0.0020	79.9862	<79.9862	79.9862
3	-0.0029	0.0034	0.0086	0.0149	0.0019	80.3551	<80.3551	80.3551

No	Al283_3 %	Al306_2 %	Al306_3 %	Al306_1 %	Al306_2b %	Al669_2 %	Al669_3 %	Bg180_2 %
1	80.2085	80.2085	80.2085	80.2085	80.2085	80.2085	80.2085	80.2085
2	79.9862	79.9862	79.9862	79.9862	79.9862	79.9862	79.9862	79.9862
3	80.3551	80.3551	80.3551	80.3551	80.3551	80.3551	80.3551	80.3551

No	Bg180_3 %
1	80.2085
2	79.9862
3	80.3551

### 3. Hasil uji komposisi sampel variabel 0,12%Sr

Program: AI-AC4CH  
 Comment: KC-356\EU  
 Single spark(s)

125827/08

03/13/2009 11:18:18 AM

Elements: Concentration

Sample No: AC8A-0,12 % Sr  
 Sample Id:

Quality: Melting (AC4CH)

No	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %
1	16.31	0.036	1.11	0.045	1.15	0.292	0.059	0.055
2	16.17	0.318	1.06	0.043	1.09	0.257	1.20	0.056
3	16.14	0.314	1.06	0.043	1.09	0.253	1.23	0.055

No	Ti %	Pb %	Sn %	Sr %	Al %
1	0.211	0.015	0.0081	0.172	<80.3
2	0.203	0.014	0.0079	0.101	<79.4
3	0.204	0.014	0.0074	0.159	<79.4

Program: AI-AC4CH  
 Comment: KC-356 EU  
 Average (n=3)

125827/08

03/13/2009 11:18:18 AM

Elements: Concentration

Sample No: AC8A-0,12 % Sr  
 Sample Id:

Quality: Melting (AC4CH)

	Si+ %	Fe+ %	Cu+ %	Mn %	Mg+ %	Cr+ %	Ni+ %	Zn %
↓	6.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.200	0.0000	0.0000	0.0000
x	16.21	0.223	1.07	0.043	1.11	0.267	0.83	0.055
↑	7.50	0.200	0.200	0.100	0.400	0.050	0.050	0.100

	Ti+ %	Pb %	Sn %	Sr+ %	Al %
↓	0.100	0.0000	0.0000	0.0050	
x	0.206	0.014	0.0078	0.144	<79.7
↑	0.200	0.050	0.050	0.015	

PT Astra Honda Motor, Pegangsaan Plant  
 Cont. AN=503 TAN=569  
 2009 14:51  
 Group: ACBA  
 ACBA  
 SAMPLE NO. [TRIAL 0.12 SR ]

Tuesday, March 24,

	INT	CU	SI	MG	ZN	FE	MN
N=1	6.2900	1.2468	15.321	0.9059	0.0867	0.3540	0.0489
Ave.	6.2900	1.2468	15.321H	0.9059	0.0867	0.3540	0.0489

	NI	TI	PB	SN	CR	CA	NA
N=1	1.0938	0.0326	0.0231	0.0003	0.0220	0.0138	0.0000
Ave.	1.0938	0.0326	0.0231	0.0003	0.0220	0.0138	0.0000

	P	SR	AL
N=1	0.0040<	0.1145	80.851
Ave.	0.0040	0.1145	80.851

#### 4. Hasil uji komposisi sampel variabel 0,19%Sr

Program: Al-AC4CH  
 Comment: KC-356 EU  
 Single spark(s)

125827/08

03/13/2009 01:29:31 PM

Elements: Concentration

Sample No: AC8A-0,19 % Sr  
 Sample Id:

Quality: Melting (AC4CH)

No	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %
1	15.85	0.341	1.03	0.044	1.05	0.356	1.19	0.053
2	16.10	0.343	0.99	0.042	1.04	0.341	1.18	0.053
3	16.13	0.334	0.99	0.043	1.03	0.350	1.15	0.053
4	16.15	0.334	1.00	0.043	1.02	0.352	1.17	0.053
5	15.96	0.341	1.01	0.043	1.04	0.352	1.22	0.054

No	Ti %	Pb %	Sn %	Sr %	Al %
1	0.208	0.013	0.0079	0.130	<79.7
2	0.206	0.013	0.0079	0.139	<79.5
3	0.206	0.013	0.0078	0.164	<79.5
4	0.207	0.013	0.0079	0.147	<79.5
5	0.206	0.013	0.0074	0.166	<79.5

#### 5. Hasil uji komposisi sampel variabel 0,26%Sr

Program: Al-AC4CH  
 Comment: KC-356 EU  
 Single spark(s)

125827/08

03/13/2009 01:36:12 PM

Elements: Concentration

Sample No: AC8A-0,26 % Sr  
 Sample Id:

Quality: Melting (AC4CH)

No	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %
1	14.86	0.307	0.94	0.041	0.97	0.288	1.13	0.052
2	15.31	0.312	0.98	0.042	1.01	0.290	1.16	0.054
3	15.69	0.277	0.94	0.038	0.97	0.272	1.02	0.052
4	15.42	0.294	0.90	0.039	0.95	0.274	1.07	0.051
5	15.78	0.293	0.89	0.040	0.92	0.276	1.10	0.051
6	15.69	0.297	0.90	0.040	0.97	0.277	1.08	0.052

No	Ti %	Pb %	Sn %	Sr %	Al %
1	0.210	0.012	0.0077	0.085	<81.1
2	0.206	0.013	0.0079	0.171	<80.4
3	0.208	0.012	0.0074	0.141	<80.3
4	0.025	0.011	0.0075	0.090	<80.8
5	0.209	0.013	0.0075	0.396	<80.0
6	0.208	0.012	0.0073	0.083	<80.4

## 6. Hasil uji komposisi sampel variabel 0,33%Sr

Program: AI-AC4CH  
 Comment: KC-356 EU  
 Single spark(s)

125827/08

03/13/2009 01:42:19 PM

Elements: Concentration

Sample No: AC8A-0,33 % Sr  
 Sample Id:

Quality: Melting (AC4CH)

No	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %
1	15.70	0.291	0.93	0.039	0.96	0.253	1.08	0.050
2	15.42	0.296	0.95	0.039	0.98	0.252	1.10	0.050
3	15.44	0.301	1.01	0.040	1.03	0.260	1.14	0.052
4	15.63	0.285	0.90	0.038	0.93	0.248	1.05	0.051

No	Ti %	Pb %	Sn %	Sr %	Al %
1	0.203	0.013	0.0077	0.457	<80.0
2	0.203	0.012	0.0073	0.385	<80.3
3	0.201	0.014	0.0075	0.51	<79.9
4	0.201	0.015	0.0074	0.87	<79.7

PT Astra Honda Motor, Pegangsaan Plant  
 Cont. AN=515 TAN=581  
 2009 15:07  
 Group: ACBA  
 ACBA  
 SAMPLE NO. [TRIAL 0.33 SR ✓ ]

Tuesday, March 24,

N=1	INT	CU	SI	MG	ZN	FE	MN
Ave.	6.3601	1.2962	14.744	0.8590	0.0851	0.3516	0.0481
	6.3601	1.2962	14.744H	0.8590	0.0851	0.3516	0.0481
N=1	NI	TI	PB	SN	CR	CA	NA
Ave.	1.0567	0.0323	0.0246	0.0004	0.0252	0.0113	0.0000
	1.0567	0.0323	0.0246	0.0004	0.0252	0.0113	0.0000
N=1	P	SR	AL				
Ave.	0.0040<	0.1072	81.466				
	0.0040	0.1072	81.466				

**LAMPIRAN B**  
**HASIL PENGUJIAN TARIK**

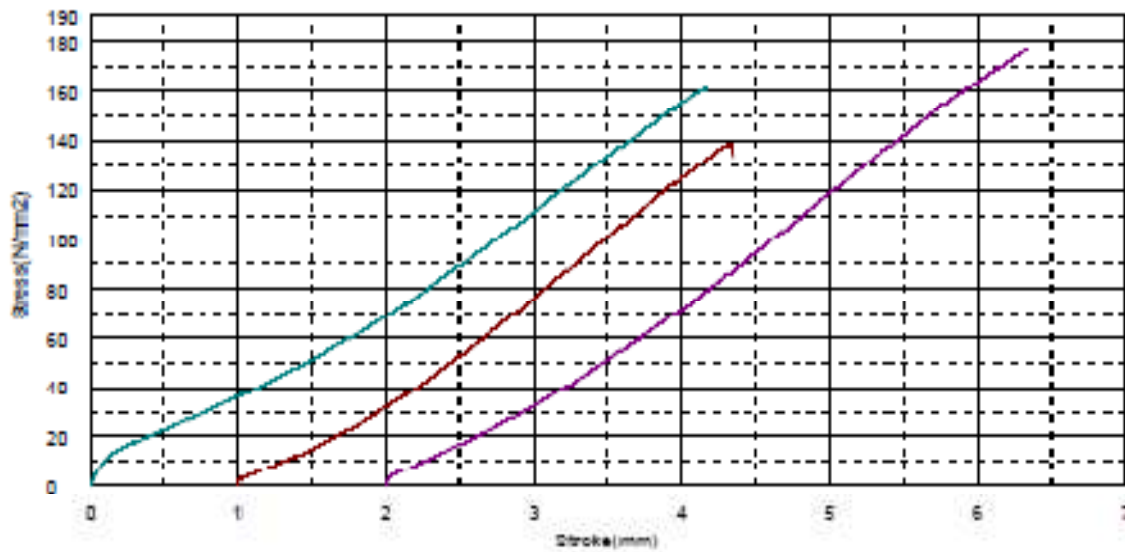
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0% - T4

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max_Force	Max_Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm2	%
1 - 1	24792.2	161.053	0.20000
2 - 1	21407.8	139.068	0.10000
3 - 1	27256.3	177.060	0.81667



Comment  
 24-03-2009  
 TRIAL AC8A HYPER PLANT CIKARANG



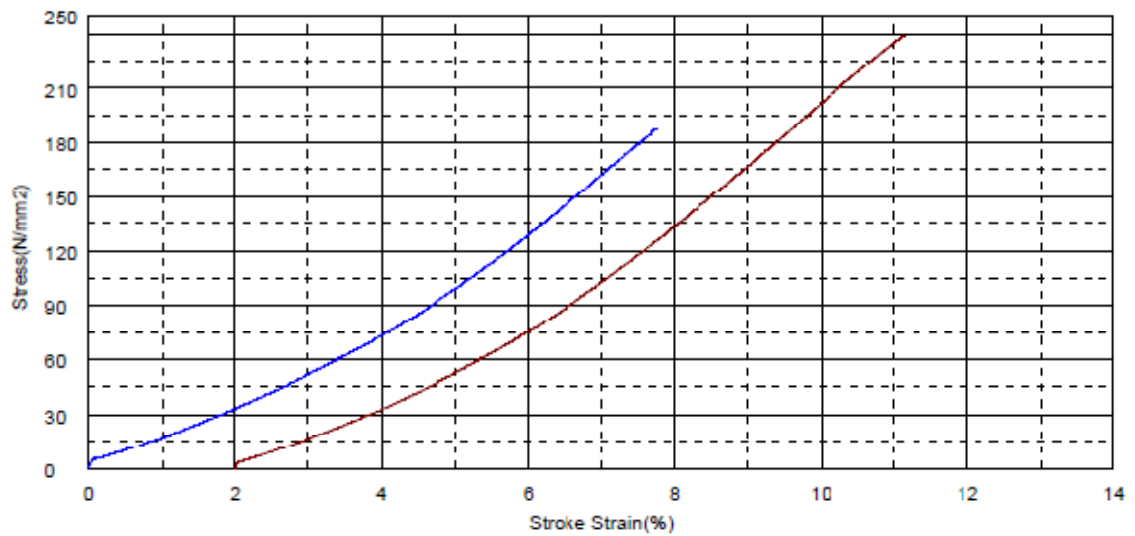
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0% - T6

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max Force	Max Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	26971.9	188.205	1.00000
2 - 1	36846.9	239.362	0.96667



Comment  
24-03-2009.

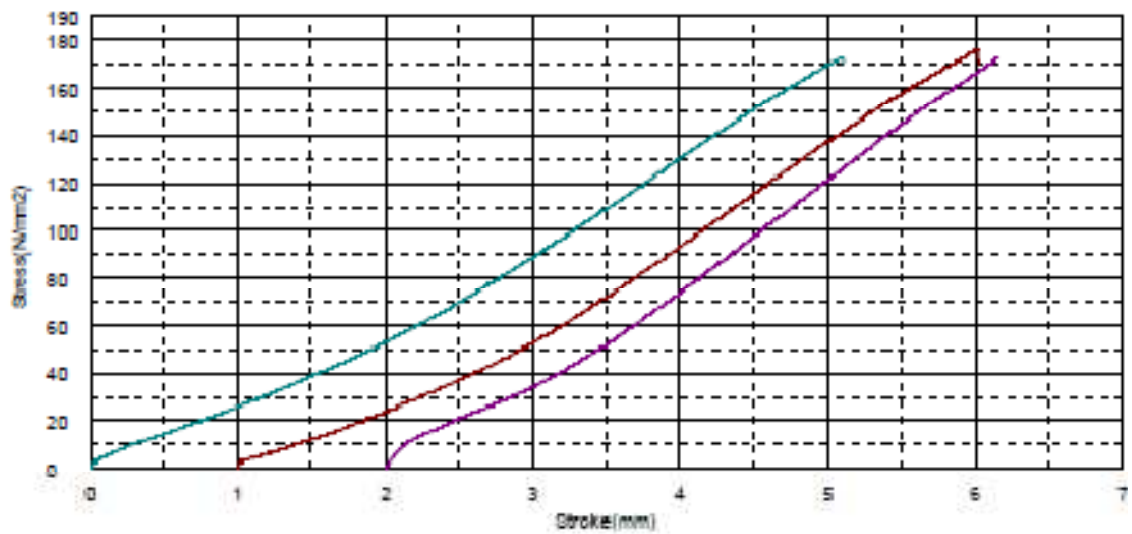
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.12% Sr - T4

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max_Force	Max_Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	26621.9	172.939	0.81667
2 - 1	27129.7	176.238	0.53333
3 - 1	26568.8	172.594	0.86667



Comment

24-03-2009

TRIAL AC8A HYPER PLANT CIKARANG

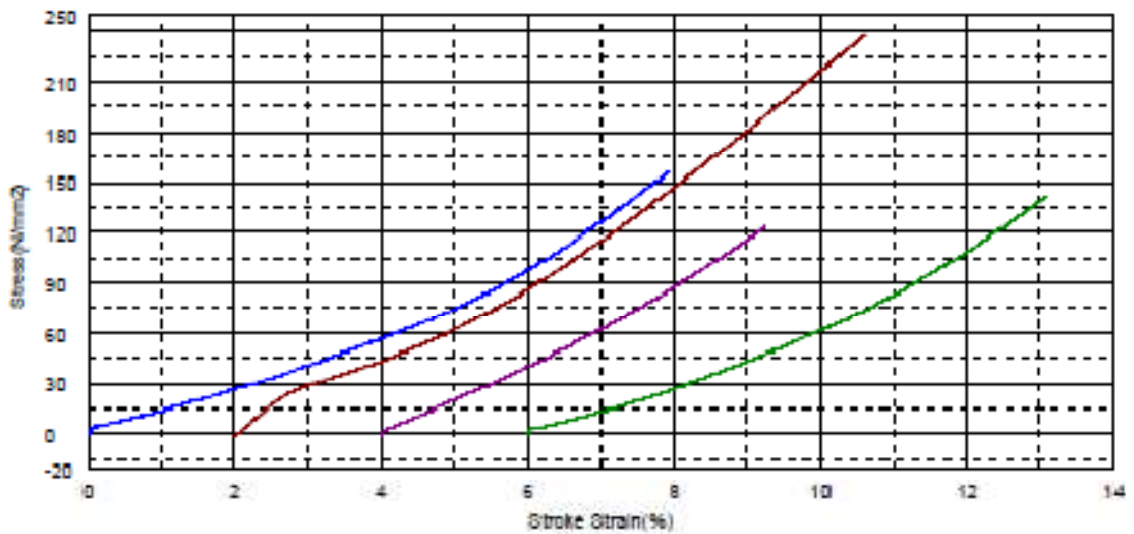
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.12% Sr - T6

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000
4 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max Force	Max Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm2	%
1 - 1	23962.5	155.653	1.00000
2 - 1	36685.9	238.316	0.96667
3 - 1	19001.6	123.436	1.63333
4 - 1	21800.0	141.615	0.26667



Comment  
24-03-2009.

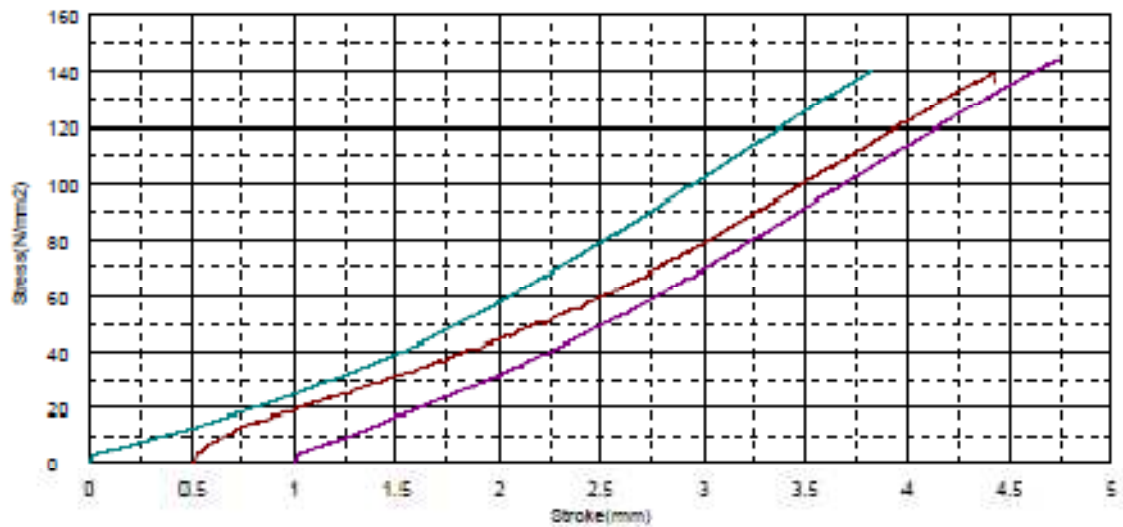
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.19% Sr - T4

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max_Force	Max_Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	21581.3	140.194	0.85000
2 - 1	21516.8	139.788	0.70000
3 - 1	22282.8	144.752	0.93334



Comment  
 24-03-2009  
 TRIAL AC8A HYPER PLANT CIKARANG

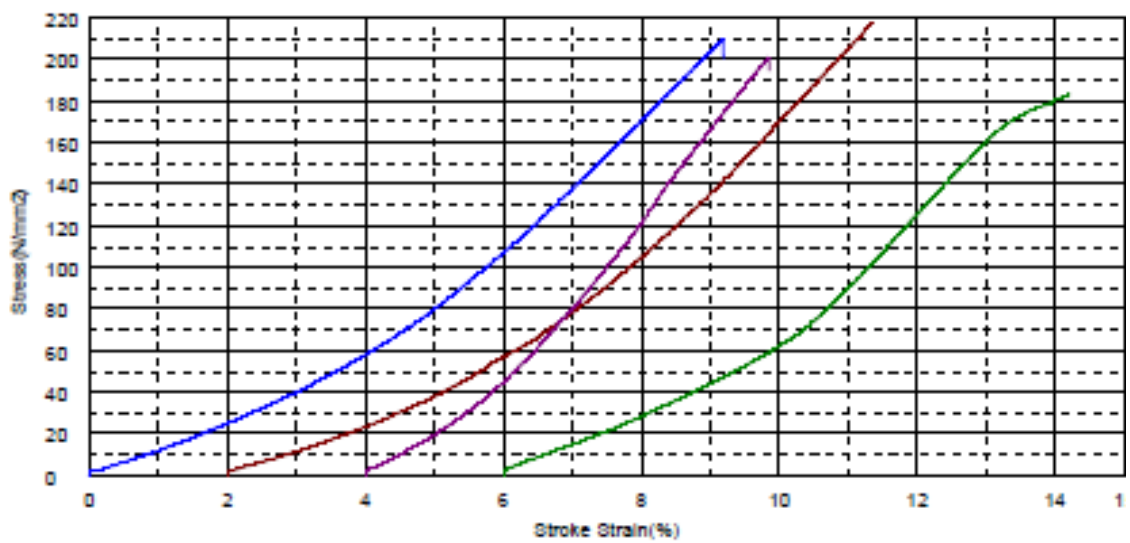
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.19% Sr - T6

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000
4 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max Force	Max Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	32257.8	209.551	1.00000
2 - 1	33529.7	217.813	0.96667
3 - 1	30971.9	201.197	1.63333
4 - 1	28223.4	183.343	0.26667



Comment  
24-03-2009.

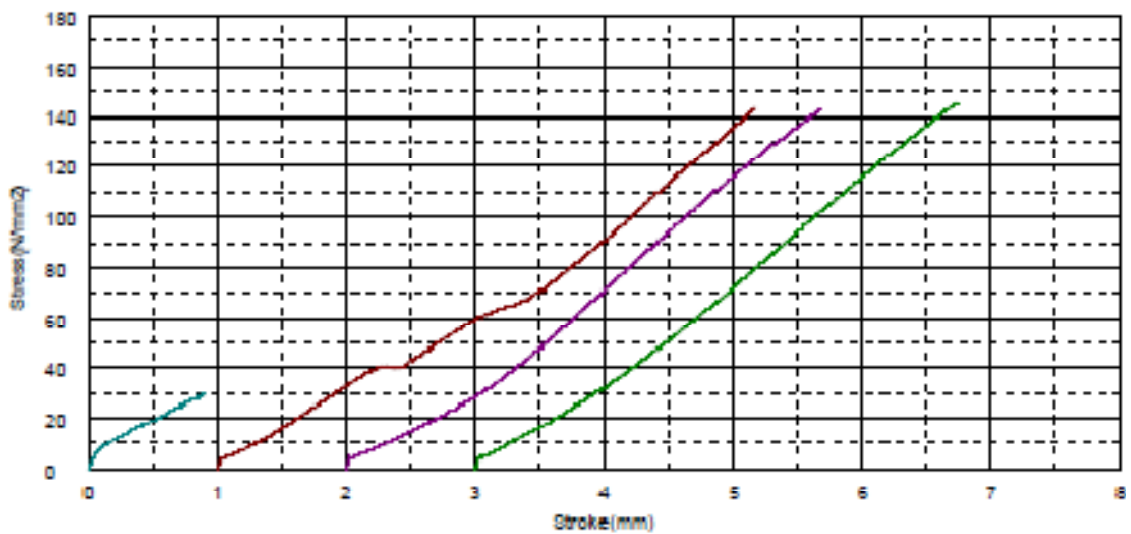
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.26% Sr - T4

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000
4 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max Force	Max Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	4503.44	29.9045	-100.00
2 - 1	22076.6	143.412	0.95000
3 - 1	22015.6	143.016	-100.00
4 - 1	22379.7	145.381	0.95000



Comment  
 24-03-2009  
 TRIAL AC8A HYPER PLANT CIKARANG

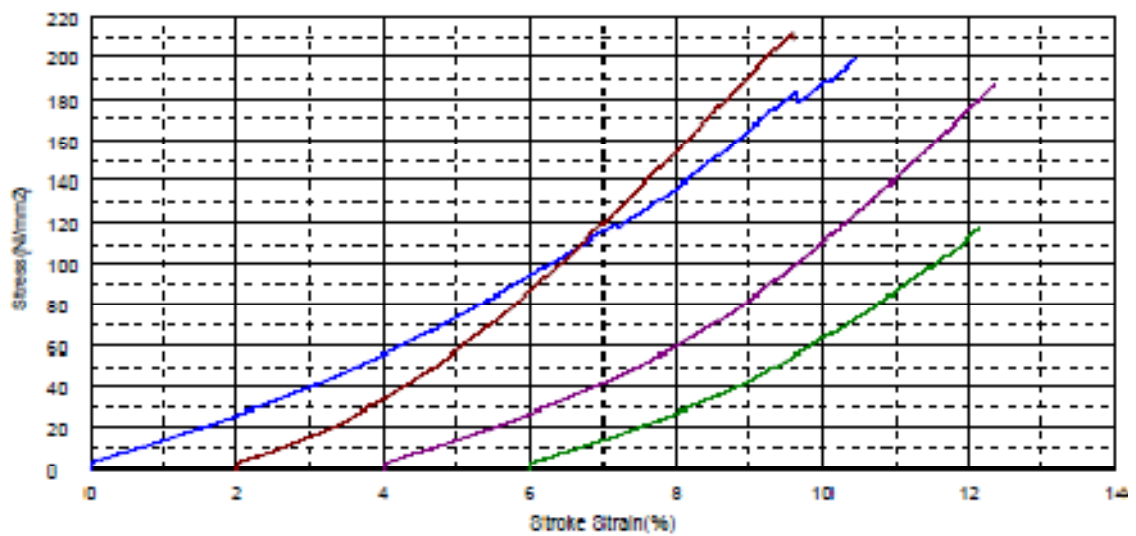
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.26% Sr - T6

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000
4 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max Force	Max Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	30754.7	199.786	1.00000
2 - 1	32678.1	212.281	0.96667
3 - 1	28859.4	187.474	1.63333
4 - 1	18078.8	117.442	0.26667



Comment  
24-03-2009.

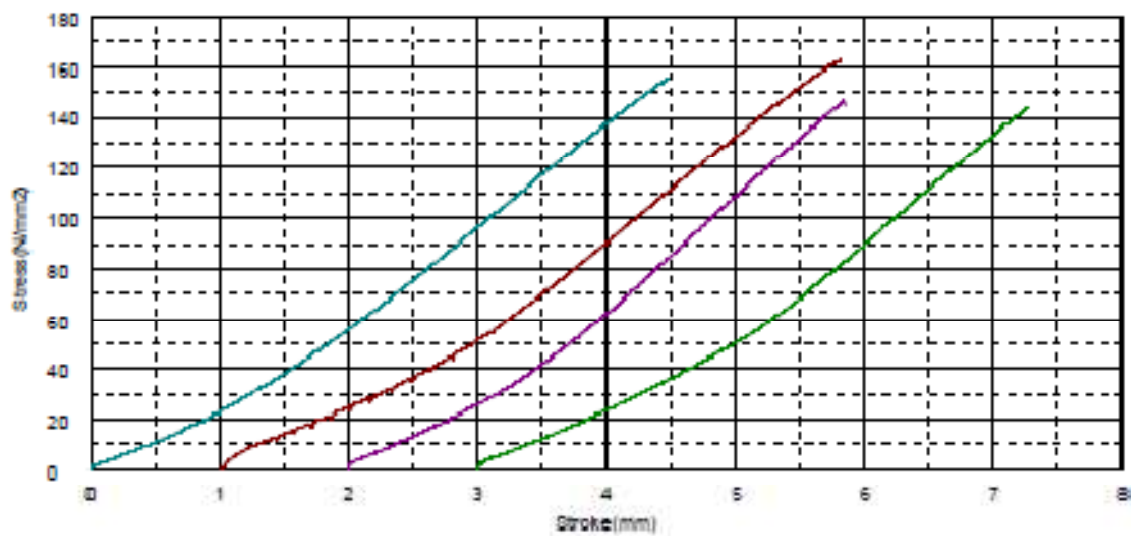
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.33% Sr - T4

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000
4 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max Force	Max Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	23992.2	155.856	1.10000
2 - 1	25035.9	162.636	0.85000
3 - 1	22582.8	146.701	0.23333
4 - 1	22210.9	144.285	0.53333



Comment  
 24-03-2009  
 TRIAL AC8A HYPER PLANT CIKARANG



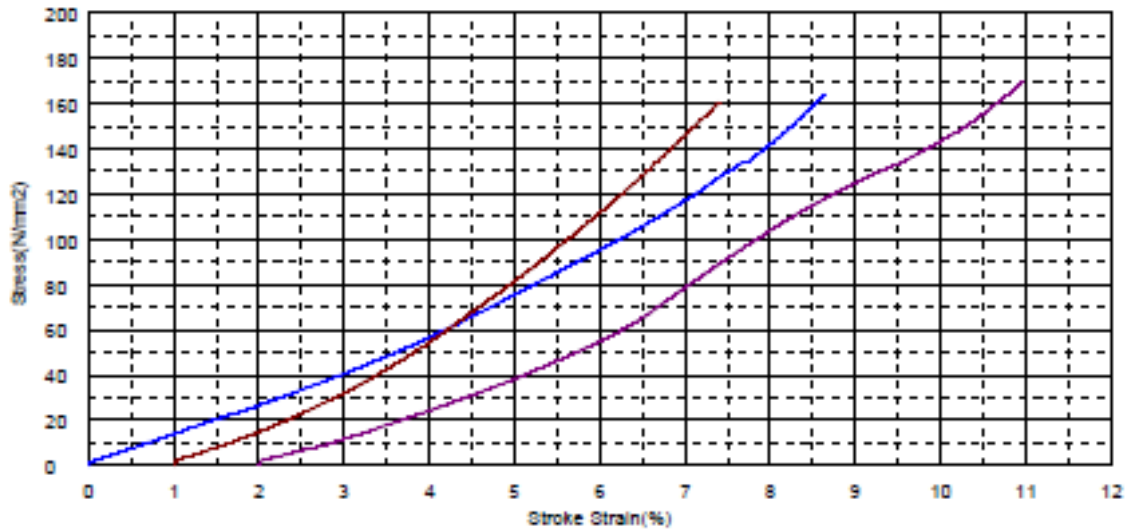
# TENSILE TEST

## AC8A HYPER - 0.33% Sr

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
1 - 1	14.0000	60.0000
2 - 1	14.0000	60.0000
3 - 1	14.0000	60.0000

Name	Max_Force	Max_Stress	ELONGATION
Units	N	N/mm <sup>2</sup>	%
1 - 1	25320.3	164.484	0.21667
2 - 1	24760.9	160.850	0.96667
3 - 1	26125.0	169.711	0.25000



Comment  
24-03-2009.

**LAMPIRAN C**  
**HASIL PENGUJIAN KEKERASAN**

1. Tabel nilai kekerasan untuk variabel sampel hasil perlakuan panas T4

<b>Jejak (HRB)</b>	<b>0%Sr</b>	<b>0,12%Sr</b>	<b>0,19%Sr</b>	<b>0,26%Sr</b>	<b>0,33%Sr</b>
<b>I</b>	49,4	49,8	48,4	48,3	47,7
<b>II</b>	49,5	49,9	48,9	49,1	47,9
<b>III</b>	50,4	50,1	49,0	50,5	47,9
<b>IV</b>	50,6	51,3	50,5	50,6	48,0
<b>V</b>	51,1	52,0	51,0	51,4	51,2
<b>VI</b>	51,6	52,2	54,0	51,7	52,2
<b>VII</b>	51,7	52,4	54,7	52,6	53,1
<b>Average</b>	<b>50,61</b>	<b>51,10</b>	<b>50,93</b>	<b>50,60</b>	<b>49,71</b>
<b>Konversi ke Brinell<sup>[31]</sup></b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>83</b>

2. Tabel nilai kekerasan untuk variabel sampel hasil perlakuan panas T6

<b>Jejak (HRB)</b>	<b>0%Sr</b>	<b>0,12%Sr</b>	<b>0,19%Sr</b>	<b>0,26%Sr</b>	<b>0,33%Sr</b>
<b>I</b>	64,3	67,9	67	67,4	69,6
<b>II</b>	66,5	68,9	67,2	67,5	70,2
<b>III</b>	68,2	69,9	67,9	67,7	70,5
<b>IV</b>	69,2	70,4	69,2	67,9	71
<b>V</b>	70,9	70,8	69,8	68,1	71,2
<b>VI</b>	71,1	70,8	69,9	69,5	71,3
<b>VII</b>	71,1	70,9	71,1	71,2	71,4
<b>Average</b>	<b>68,76</b>	<b>69,94</b>	<b>68,87</b>	<b>68,47</b>	<b>70,74</b>
<b>Konversi ke Brinell<sup>[31]</sup></b>	<b>109</b>	<b>110</b>	<b>109</b>	<b>107</b>	<b>112</b>

# **LAMPIRAN D**

## **HASIL PENGUJIAN AUS**

1. Tabel nilai laju aus untuk variabel sampel hasil perlakuan panas T4

- Lebar celah jejak aus (mm)

No.	0%	0.12%Sr	0.19%Sr	0.26%Sr	0.33%Sr
1	6.027	6.075	6.004	6.868	5.832
2	6.163	6.115	6.465	5.718	6.416
3	6.144	5.718	5.963	5.456	6.324
<b>Average</b>	<b>6.111</b>	<b>5.969</b>	<b>6.144</b>	<b>6.014</b>	<b>6.191</b>

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12r} \quad V = \frac{W}{x} = \frac{B \cdot b^3}{12r \cdot x}$$

B (tebal cincin putar) = 3 mm

b (lebar celah terabrasi) = mm

r (jari-jari cincin putar) = 15 mm

x (jarak luncur) = 100 m = 100000 mm

W (volume terabrasi) = mm<sup>3</sup>

V (laju keausan) = mm<sup>3</sup>/mm

- Laju keausan (mm<sup>3</sup>/mm):

Variabel	B	b	r	x	V
0%	3	6.111	15	100000	3.804E-05
0.12%Sr	3	5.969	15	100000	3.544E-05
0.19%Sr	3	6.144	15	100000	3.865E-05
0.26%Sr	3	6.014	15	100000	3.625E-05
0.33%Sr	3	6.191	15	100000	3.955E-05

2. Tabel nilai laju aus untuk variabel sampel hasil perlakuan panas T6

- Lebar celah jejak aus (mm)

No.	0%	0.12%Sr	0.19%Sr	0.26%Sr	0.33%Sr
1	5.890	5.454	5.279	5.900	6.070
2	5.379	4.847	4.710	5.603	5.408
3	5.583	5.905	5.819	5.651	6.122
<b>Average</b>	<b>5.617</b>	<b>5.402</b>	<b>5.269</b>	<b>5.718</b>	<b>5.867</b>

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 r} \quad V = \frac{W}{x} = \frac{B \cdot b^3}{12 r \cdot x}$$

B (tebal cincin putar) = 3 mm

b (lebar celah terabrasi) = mm

r (jari-jari cincin putar) = 15 mm

x (jarak luncur) = 100 m = 100000 mm

W (volume terabrasi) = mm<sup>3</sup>

V (laju keausan) = mm<sup>3</sup>/mm

- Laju keausan (mm<sup>3</sup>/mm):

Variabel	B	b	r	x	V
<b>0%</b>	3	<b>5.617</b>	15	100000	<b>2.954E-05</b>
<b>0.12%Sr</b>	3	<b>5.402</b>	15	100000	<b>2.627E-05</b>
<b>0.19%Sr</b>	3	<b>5.269</b>	15	100000	<b>2.438E-05</b>
<b>0.26%Sr</b>	3	<b>5.718</b>	15	100000	<b>3.116E-05</b>
<b>0.33%Sr</b>	3	<b>5.867</b>	15	100000	<b>3.366E-05</b>